

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LE RÔLE DE LA VISION DANS LA PERCEPTION ET LA PRODUCTION DE LA  
PAROLE : ÉTUDE DES VOYELLES ORALES DU FRANÇAIS QUÉBÉCOIS  
PRODUITES ET PERÇUES PAR DES ADULTES VOYANTS ET AVEUGLES

MÉMOIRE  
PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN LINGUISTIQUE

PAR  
SOPHIE DUPONT

JANVIER 2006

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

## REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à témoigner toute ma reconnaissance et ma gratitude à ma directrice de mémoire, Lucie Ménard, grâce à qui je me suis investie pleinement dans le monde de la recherche durant deux années extrêmement enrichissantes sur tous les plans. Son soutien de tous les instants, que ce soit en personne, à l'autre bout du fil ou par courriel, a été déterminant dans la réalisation de ce mémoire. Pour sa passion communicatrice pour la phonétique, sa rigueur scientifique infatigable et ses habiletés multidisciplinaires salvatrices, qui ont constitué des moteurs puissants de motivation, et pour son oreille attentive, sa générosité, sa disponibilité, son souci des autres et son esprit d'équipe, qui sont des qualités humaines hors pair, un chaleureux merci.

Je voudrais également remercier vivement Marie-Agnès Cathiard, pour m'avoir si bien accueillie et encadrée durant six mois à l'Institut de la Communication Parlée (ICP) à Grenoble et pour avoir accepté de faire partie de mon jury. Sa supervision constante et discrète, son appui, ses remarques et ses encouragements m'ont agréablement accompagnée dans les détours de la rédaction et m'ont été grandement bienfaisants.

Pour avoir accepté de faire partie de mon jury et pour son approche posée et philosophique de mon projet de mémoire ayant soulevé d'intéressantes questions, je désire remercier Henrietta Cedergren.

Je remercie Yves Jalbert, Louise Comtois et Francine Baril de l'Institut Nazareth et Louis-Braille (INLB) à Longueuil pour leur collaboration au recrutement de participants aveugles et pour les informations transmises. Je voudrais formuler des remerciements particuliers aux douze personnes qui ont prêté durant plusieurs heures leur voix et leurs oreilles à cette étude, et au contact de qui j'ai beaucoup appris.

Durant mon séjour à l'ICP, j'ai pu acquérir et exploiter des données géométriques des lèvres grâce à l'aide de Christophe Savariaux et de Coriandre Vilain, que je remercie. Je

remercie aussi Christian Abry pour les journées ponctuées de discussions impromptues et dont plusieurs remarques furent pertinentes. Un merci empreint d'amitié à Aude, dont l'aide technique et l'accueil grenoblois sans pareil ont contribué à faire de ce séjour une réussite scientifique et personnelle. Merci aussi aux autres thésards, stagiaires et permanents.

Je remercie mes chers collègues étudiants avec qui j'ai cohabité au Laboratoire de phonétique de l'UQAM pour le partage de nos inquiétudes en session, les dîners gastronomiques, leur collaboration précieuse aux enregistrements, leur présence au quotidien et leurs petites caractéristiques qui ont fait de ce labo une équipe forte. Resteront mémorables : Jérôme, un secours MatLab et son sens développé de l'ironie, Caroline, ses « montées aux barricades » et sa boulomanie motivante, Lucie D., sa douceur et les conversations dans le cadre de la porte, Johanna, son expertise et ses anecdotes françaises, Marie-Ève, son enthousiasme et son dynamisme débordant...

Finalement, je remercie Sébastien pour sa patience sans fin dans la proximité et dans la distance, son calme épongeant mon stress, son aide informatique efficace et son respect de mes petits moments de « réclusion » de recherche et de rédaction. Je remercie aussi ma famille pour m'avoir encouragée depuis le tout début de mes études, pour leur fierté et pour leur confiance en l'aboutissement de mon travail.

Je remercie le Fond québécois pour la recherche sur la société et la culture (FQRSC) pour le soutien financier qui m'a été accordé tout au long de cette maîtrise.



## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	xvi
RÉSUMÉ.....	xviii
INTRODUCTION.....	1
 PREMIÈRE PARTIE	
ÉTAT DE LA QUESTION.....	4
 CHAPITRE 1	
MULTIMODALITÉ ET MULTISENSORIALITÉ DE LA PAROLE.....	5
1.1 Notions phonétiques préalables.....	5
1.1.1 Description articulatoire.....	6
1.1.2 Description articulatoire.....	8
1.1.3 Corrélats des paramètres articulatoires et acoustiques.....	9
1.1.4 Coarticulation labiale anticipante et modèles d'anticipation.....	14
1.2 Bimodalité de la perception de la parole.....	21
1.2.1 Perception de la parole audio-visuelle dans le bruit.....	21
1.2.2 Effet McGurk.....	26
1.2.3 Lecture labiale et visèmes.....	28
 CHAPITRE 2	
LES RELATIONS ENTRE PRODUCTION ET PERCEPTION DE LA PAROLE : CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES ET EXPÉRIMENTALES.....	32
2.1 Les théories de la perception.....	32
2.1.1 La théorie auditive.....	33
2.1.2 La théorie motrice.....	34
2.1.3 Les théories de l'interaction locuteur-auditeur.....	35

2.1.4	Implémentation du modèle de Perkell et al. (2000) dans le modèle DIVA.....	37
2.1.5	Synthèse des théories présentées.....	37
2.2	Les études expérimentales.....	38
2.2.1	Les auditeurs n'ont pas recours à leur propre articulation en situation de perception.....	39
2.2.2	Il existe un lien entre les stratégies de production et les différences perceptuelles.....	41
2.2.3	Synthèse des expériences présentées.....	47
CHAPITRE 3		
LES RELATIONS ENTRE LA PRODUCTION ET LA PERCEPTION DE LA PAROLE : LE CAS DES AVEUGLES .....		49
3.1	Perception auditive des auditeurs aveugles.....	49
3.2	Développement de la production de la parole chez les locuteurs aveugles.....	56
DEUXIÈME PARTIE		
MÉTHODOLOGIE.....		61
CHAPITRE 4		
PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL.....		62
4.1	Les objectifs de la recherche.....	62
4.2	Les participants.....	63
4.2.1	Les sujets aveugles.....	64
4.2.2	Les sujets voyants.....	69
4.3	Cueillette de données de perception.....	70
4.3.1	Test d'identification de voyelles synthétisées.....	70
4.3.2	Test de discrimination AXB de voyelles synthétisées.....	79
4.4	Cueillette de données de production.....	82
4.4.1	Enregistrements acoustiques de production de voyelles tenues isolées...	82
4.4.2	Enregistrements audio-visuels de données géométriques des lèvres.....	92

TROISIÈME PARTIE	
RÉSULTATS ET ANALYSES.....	98
 CHAPITRE 5	
ANALYSE DES TESTS PERCEPTIFS : ORGANISATION DES TRAPÈZES VOCALIQUES AUDITIFS, FRONTIÈRES D'IDENTIFICATION ET PICS DE DISCRIMINATION.....	99
5.1 Remarques préliminaires sur le critère de cohérence.....	99
5.1.1 Taux de coherence.....	100
5.1.2 Impact de la classification des percepts en terme de cohérence.....	101
5.2 Résultats issus du test d'identification de voyelles synthétisées.....	102
5.2.1 Aperture.....	103
5.2.2 Lieu d'articulation.....	112
5.2.3 Arrondissement.....	115
5.2.4 Discussion.....	118
5.3 Résultats issus du test de discrimination de voyelles synthétisées comprises dans des continua acoustiques.....	120
5.3.1 Aperture.....	120
5.3.2 Lieu d'articulation.....	122
5.3.3 Arrondissement.....	123
5.3.4 Discussion.....	125
 CHAPITRE 6	
ANALYSE DES TRAPÈZES VOCALIQUES ACOUSTIQUES ET AUDITIFS PRODUITS.....	126
6.1 Description acoustique des voyelles produites.....	127
6.1.1 Trapèzes vocaliques des sujets de sexe féminin présentés dans le plan acoustique F1 versus F2 (en Hertz) .....	127
6.1.2 Trapèzes vocaliques des sujets de sexe masculin présentés dans le plan acoustique F1 versus F2 (en Hertz) .....	138
6.1.3 Remarques sur les productions des participants du groupe de sujets voyants versus du groupe de sujets aveugles.....	147

6.2	Description des voyelles produites dans une perspective auditive.....	152
6.2.1	Trapèzes vocaliques des sujets de sexe féminin présentés dans le plan acoustico-auditif F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) .....	152
6.2.2	Trapèzes vocaliques des sujets de sexe masculin présentés dans le plan acoustico-auditif F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) .....	161
6.2.3	Remarques sur les conséquences acoustico-perceptives des productions des participants voyants et aveugles.....	169
CHAPITRE 7		
LES RELATIONS ENTRE PRODUCTION ET PERCEPTION DE LA PAROLE.....		174
7.1	Positionnement des voyelles produites par rapport aux frontières perceptives.....	174
7.1.1	Aperture produite et perçue.....	174
7.1.2	Lieu d'articulation produit et perçu.....	176
7.1.3	Arrondissement produit et perçu.....	177
7.2	Mise en relation des distances euclidiennes des productions et les pics de discrimination de perception.....	178
7.2.1	Régressions linéaires.....	178
7.2.2	Remarque.....	181
CHAPITRE 8		
ÉTUDE EXPLORATOIRE DE L'ANTICIPATION LABIALE D'ARRONDISSEMENT CHEZ DEUX LOCUTEURS VOYANTS ET DEUX LOCUTEURS AVEUGLES.....		182
8.1	Sujets voyants.....	182
8.2	Sujets aveugles.....	184
8.3	Synthèse.....	185
QUATRIÈME PARTIE		
CONCLUSION.....		187
CHAPITRE 9		
SYNTHÈSE GÉNÉRALE ET CONCLUSION.....		188
9.1	Synthèse générale.....	188
9.2	Pistes à explorer.....	190

APPENDICE A	
STIMULI DU TEST D'IDENTIFICATION DE VOYELLES SYNTHÉTISÉES.....	192
APPENDICE B	
STIMULI DU TEST DE DISCRIMINATION DE VOYELLES SYNTHÉTISÉES.....	209
APPENDICE C	
TAUX DE COHÉRENCE DES PERCEPTS FOURNIS AU TEST D'IDENTIFICATION.....	212
APPENDICE D	
FRONTIÈRES CATÉGORIELLES ET ORGANISATION PERCEPTIVE.....	214
APPENDICE E	
DISTANCES EUCLIDIENNES ENTRE LES ELLIPSES DE DISPERSION DES VOYELLES PRODUITES.....	231
BIBLIOGRAPHIE.....	248

## LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1.1 Non linéarité des échelles des Hertz et des Bark.....	9
1.2 Paramètres labiaux utilisés dans la procédure de mesure de la géométrie des lèvres.....	10
1.3 Comparaison de 3 modèles d'anticipation du geste de protrusion de la lèvre supérieure durant la production de l'intervalle consonantique intervocalique.....	15
1.4 Montage expérimental des enregistrements audio-visuels de face et de profil.	16
1.5 Étiquettes acoustiques et cinématiques sur un signal de la séquence [ikstsky].	17
1.6 Modèle d'expansion du mouvement (MEM).....	19
1.7 Taux de perception correcte en fonction de la condition de présentation des stimuli.....	22
1.8 Taux d'information transmise en condition audio et en condition visuelle.....	23
1.9 Matrice de confusion auditive des consonnes de l'anglais établie pour illustrer la perception des malentendants.....	24
1.10 Structure acoustique d'une syllabe plosive-voyelle et du geste labial correspondant.....	25
1.11 Matrice de confusion visuelle des consonnes de l'anglais établie pour illustrer la perception des malentendants.....	30
2.1 Positions des senseurs d'EMA.....	43
2.2 Séparation entre le corps de la langue lors de la production des deux catégories vocaliques pour les deux types de discriminateurs.....	44
4.1 Fenêtre principale de l'interface GROWTH, de configuration labiale et du contrôle des paramètres articulatoires.....	71

Figure	Page
4.2 Représentations des prototypes, dans les plans F1 vs F2 et F2 vs F3 des 38 voyelles d'UPSID dans un conduit vocal de 21 ans.....	72
4.3 Interface Praat du test de perception utilisée par les participants voyants et l'expérimentatrice avec les participants aveugles.....	73
4.4 Algorithme de calcul du second formant effectif.....	77
4.5 Exemple de graphique de frontière d'identification.....	78
4.6 Interface Praat du test de discrimination.....	81
4.7 Spectrogramme de la production de [a] par le locuteur aveugle SN en condition avec bruit; indicateur de saturation du signal.....	87
4.8 Spectrogramme de la production de [o] par la locutrice aveugle DM en condition avec bruit; indicateur de mauvaise détection de formants trop rapprochés.....	88
4.9 Spectrogramme de la production de [u] par le locuteur aveugle CP en condition sans bruit; indicateur d'un plateau spectral décentré temporellement.....	88
4.10 Spectrogramme de la production de [ɛ] par le locuteur aveugle SN dans la condition sans bruit; indicateur d'une erreur de mesure de F0 par l'algorithme.....	89
4.11 Exemple de trapèze vocalique tracé dans l'espace acoustique F1 vs F2 (en Hz) à partir des valeurs formantiques des 11 voyelles produites, à l'aide d'un programme MatLab.....	90
4.12 Schéma illustrant les critères de précision et de distinction des ellipses.....	91
4.13 Interface du logiciel de détection de contours labiaux Tacle.....	95
4.14 Étiquetage de l'intervalle d'obstruence sous le logiciel Praat sur une séquence [iky] prononcée par la locutrice voyante CR.....	96
4.15 Étiquetage des événements articulatoires sur une séquence [iC <sub>n</sub> y].....	97
5.1 Taux de cohérence globaux, d'aperture, de lieu d'articulation et d'arrondissement par groupe de sujets.....	100

Figure		Page
5.2	Courbes d'identification du trait d'arrondissement du locuteur voyant FG, calculée à partir de tous les percepts et qu'avec les percepts cohérents.....	102
5.3	Frontières d'identification des contrastes d'aperture (en Bark) par sujet et par groupe.....	104
5.4	Pentes des courbes d'identification du contraste fermé/mi-fermé pour chacun des sujets et chacun des groupes.....	105
5.5	Aire des ellipses des percepts fermés (en Bark <sup>2</sup> ) calculée dans le plan F1-F0 F2-F1 pour chacun des sujets.....	106
5.6	Pentes des courbes d'identification du contraste mi-fermé/mi-ouvert pour chacun des sujets et chacun des groupes.....	107
5.7	Aire des ellipses des percepts mi-fermés (en Bark <sup>2</sup> ) calculée dans le plan F1-F0 vs F2-F1 pour chacun des sujets.....	108
5.8	Pentes des courbes d'identification du contraste mi-ouvert/ouvert pour chacun des sujets et chacun des groupes.....	110
5.9	Aire des ellipses des percepts mi-ouverts (en Bark <sup>2</sup> ) calculée dans le plan F1-F0 vs F2-F1 pour chacun des sujets.....	111
5.10	Aire des ellipses des percepts ouverts (en Bark <sup>2</sup> ) calculée dans le plan F1-F0 vs F2-F1 pour chacun des sujets.....	111
5.11	Frontières d'identification du contraste de lieu d'articulation (en Bark) par sujet et par groupe.....	112
5.12	Pentes des courbes d'identification du contraste antérieur/postérieur pour chacun des sujets et chacun des groupes.....	113
5.13	Aire des ellipses des percepts antérieurs calculée dans le plan F1-F0 vs F2-F1 pour chacun des sujets.....	114
5.14	Aire des ellipses des percepts ouverts (en Bark <sup>2</sup> ) calculée dans le plan F1-F0 vs F2-F1 pour chacun des sujet.....	115
5.15	Frontières d'identification du contraste d'arrondissement antérieur (en Bark) par sujet et par groupe.....	116
5.16	Pentes des courbes d'identification du contraste arrondi non arrondi pour chacun des sujets et chacun des groupes.....	117



Figure		Page
5.17	Aire des ellipses des percepts antérieurs arrondis (en Bark <sup>2</sup> ) calculée dans le plan F1-F0 vs F2-F1 pour chacun des sujets.....	118
5.18	Aire des ellipses des percepts antérieurs arrondis (en Bark <sup>2</sup> ) calculée dans le plan F1-F0 vs F2-F1 pour chacun des sujets.....	118
5.19	Frontières d'identification moyennes (en Bark) par groupe de sujets pour tous les contrastes étudiés.....	119
5.20	Pourcentages de discrimination correcte pour le continuum d'aperture [i] à [e] des sujets voyants.....	120
5.21	Pourcentages de discrimination correcte pour le continuum d'aperture [i] à [e] des sujets aveugles.....	121
5.22	Comparaison des pics de discrimination d'aperture (continuum de [i] à [e]) des 2 groupes de sujets.....	121
5.23	Pourcentages de discrimination correcte pour le continuum de lieu d'articulation [y] à [u] des sujets aveugles.....	122
5.24	Pourcentages de discrimination correcte pour le continuum de lieu d'articulation [y] à [u] des sujets voyants.....	122
5.25	Comparaison des pics de discrimination du lieu d'articulation (continuum de [y] à [u]) des 2 groupes de sujets.....	123
5.26	Pourcentages de discrimination correcte pour le continuum d'arrondissement [i] à [y] des sujets aveugles.....	124
5.27	Pourcentages de discrimination correcte pour le continuum d'arrondissement [i] à [y] des sujets voyants.....	124
5.28	Comparaison des pics de discrimination d'arrondissement (continuum de [i] à [y]) des 2 groupes de sujets.....	125
6.1	Trapèzes vocaliques dans le plan F1 vs F2 (en Hz) des productions de la locutrice voyante AMP effectuées dans les 2 conditions de bruit.....	128
6.2	Trapèzes vocaliques dans le plan F1 vs F2 (en Hz) des productions de la locutrice voyante CR effectuées dans les 2 conditions de bruit.....	129

Figure	Page
6.3 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 vs F2 (en Hz) produits par la locutrice voyante RB dans les 2 conditions de bruit.....	131
6.4 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 vs F2 (en Hz) des productions de la locutrice aveugle DM dans les 2 conditions de bruit.....	132
6.5 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 vs F2 (en Hz) des productions de la locutrice aveugle FB effectuées dans les 2 conditions de bruit.....	133
6.6 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 vs F2 (en Hz) des productions de la locutrice aveugle SS effectuées dans les 2 conditions de bruit.....	134
6.7 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 vs F2 (en Hz) des productions vocaliques effectuées par le locuteur voyant CD dans les 2 conditions de bruit.....	139
6.8 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 vs F2 (en Hz) des productions vocaliques effectuées par le locuteur voyant FG dans les 2 conditions de bruit.....	140
6.9 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 vs F2 (en Hz) des productions vocaliques effectuées par le locuteur voyant FM dans les 2 conditions de bruit.....	141
6.10 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 vs F2 (en Hz) des productions vocaliques effectuées par le locuteur aveugle CP dans les 2 conditions de bruit.....	142
6.11 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 vs F2 (en Hz) des productions vocaliques effectuées par le locuteur aveugle SN dans les 2 conditions de bruit.....	143
6.12 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 vs F2 (en Hz) produits par le locuteur aveugle YL dans les 2 conditions de bruit.....	144
6.13 AVS (en Hz) de chacun des sujets dans les 2 conditions de bruit.....	148
6.14 Variations (en %) des distances euclidiennes des voyelles antérieures s'opposant sur le trait d'arrondissement de la condition normale à la condition avec bruit.....	149
6.15 Variations (en %) des distances euclidiennes entre les voyelles antérieures s'opposant sur le trait d'aperture, de la condition normale à la condition avec bruit.....	150

Figure	Page
6.16 Proportion (en %) de la variation des distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur la base du trait d'antéro-postérité, de la condition normale à la condition avec bruit.....	151
6.17 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 vs F2-F1 (en Bark) produits par la locutrice voyante AMP dans les 2 conditions de bruit.....	153
6.18 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 vs F2-F1 (en Bark) produits par la locutrice voyante CR dans les 2 conditions de bruit.....	154
6.19 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) produits par la locutrice voyante RB dans les 2 conditions de bruit.....	155
6.20 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 vs F2-F1 (en Bark) produits par la locutrice aveugle DM dans les 2 conditions de bruit.....	156
6.21 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 vs F2-F1 (en Bark) produits par la locutrice aveugle FB dans les 2 conditions de bruit.....	157
6.22 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 vs F2-F1 (en Bark) produits par la locutrice aveugle SS dans les 2 conditions de bruit.....	158
6.23 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 vs F2-F1 (en Bark) produits par le locuteur voyant CD dans les 2 conditions de bruit.....	161
6.24 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 vs F2-F1 (en Bark) produits par le locuteur voyant FG dans les 2 conditions de bruit.....	162
6.25 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 vs F2-F1 (en Bark) produits par le locuteur voyant FM dans les 2 conditions de bruit.....	163
6.26 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 vs F2-F1 (en Bark) produits par le locuteur aveugle CP dans les 2 conditions de bruit.....	164
6.27 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 vs F2-F1 (en Bark) produits par le locuteur aveugle SN dans les 2 conditions de bruit.....	165
6.28 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 vs F2-F1 (en Bark) produits par le locuteur aveugle YL dans les 2 conditions de bruit.....	166
6.29 Moyennes des AVS (en Bark) des locuteurs, par groupe et par sexe.....	170

Figure		Page
6.30	Variation (en Bark) des distances euclidiennes des voyelles antérieures s'opposant sur la base du trait d'arrondissement de la condition normale à la condition avec bruit.....	171
6.31	Variation (en Bark) des distances euclidiennes des voyelles s'opposant sur la base du trait d'aperture de la condition normale à la condition avec bruit.....	172
6.32	Variation (en Bark) des distances euclidiennes des voyelles s'opposant sur la base du trait d'antéro-postériorité de la condition normale à la condition avec bruit.....	172
7.1	Classification des voyelles produites s'opposant sur la base du trait d'aperture en vertu des frontières perceptives associées.....	175
7.2	Classification des voyelles produites s'opposant sur la base du trait de lieu d'articulation, en vertu de la frontière perceptive ANT/POST.....	177
7.3	Classification des voyelles produites s'opposant sur la base du trait d'arrondissement antérieur, en vertu de la frontière perceptive A/NA.....	178
7.4	Mise en relation des pics de discrimination du continuum de [i] à [e] et des distances euclidiennes produites pour ce contraste.....	179
7.5	Mise en relation des pics de discrimination du contraste de [y] à [u] et des distances euclidiennes produites pour ce contraste.....	180
7.6	Mise en relation des pics de discrimination du contraste de [i] à [y] et des distances euclidiennes produites pour ce contraste.....	180
8.1	Test du MEM à partir des données du locuteur voyant FM.....	183
8.2	Test du MEM à partir des données de la locutrice voyante CR.....	184
8.3	Test du MEM à partir des données du locuteur aveugle CP.....	184
8.4	Test du MEM à partir des données de la locutrice aveugle DM.....	185

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1.1 Classification articulatoire des voyelles orales du français.....	8
1.2 Corrélat visuels et acoustiques.....	10
1.3 Corrélat auditifs des variables acoustiques.....	11
1.4 Gestes articulatoires peu audibles.....	12
1.5 Gestes articulatoires audibles.....	13
1.6 Synthèse des 4 modèles d'anticipation pour des séquences [iC <sub>n</sub> y].....	20
1.7 Robustesse des traits vocaliques pour chaque modalité.....	23
1.8 Exemples de stimuli consonantiques suscitant l'effet McGurk.....	26
1.9 Appariements de voyelles donnant lieu à un effet McGurk vocalique.....	28
2.1 Synthèse des théories et modèles de la perception et de la production.....	38
2.2 Études expérimentales relatives aux relations entre la production et la perception de la parole.....	47
3.1 Synthèse des résultats des études sur la perception auditive chez les adultes...	55
4.1 Classification des atteintes de la vision selon leur gravité, définie dans la CIM-10 de l'OMS (1993).....	66
4.2 Données sociodémographiques et cliniques des participants aveugles.....	66
4.3 Données sociodémographiques des participants normo-voyants.....	69
4.4 Ordre des différentes étapes de la cueillette des données.....	70
4.5 Description des différentes parties du test d'identification.....	73

Tableau		Page
4.6	Étiquettes de traits vocaliques apposées aux percepts.....	75
4.7	Oppositions de contrastes étudiés.....	78
4.8	Définition des axes des graphiques et des frontières d'identification tracées...	79
4.9	Corpus d'enregistrements acoustiques.....	83
4.10	Déroulement des enregistrements acoustiques.....	84
4.11	Corpus d'enregistrement des données géométriques d'anticipation labiale.....	93
6.1	Comparaison de l'aire des ellipses, du nombre d'ellipses se chevauchant et de l'AVS de chacune des locutrices en fonction de la condition de bruit.....	135
6.2	Variation des distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur le lieu d'articulation, l'aperture et l'arrondissement en fonction de la condition de bruit.....	138
6.3	Comparaison de l'aire des ellipses, du nombre d'ellipses se chevauchant et de l'AVS de chacun des locuteurs en fonction de la condition de bruit.....	146
6.4	Variation des distances euclidiennes permettant d'opposer les voyelles produites selon les traits de lieu d'articulation, d'aperture et d'arrondissement en fonction de la condition de bruit.....	147
6.5	Comparaison de l'aire des ellipses, du nombre d'ellipses se chevauchant et de l'AVS de chacun des locuteurs en fonction de la condition de bruit.....	159
6.6	Variation des distances euclidiennes permettant d'opposer les voyelles produites selon les traits de lieu d'articulation, d'aperture et d'arrondissement en fonction de la condition de bruit.....	160
6.7	Comparaison de l'aire des ellipses, du nombre d'ellipses se chevauchant et de l'AVS de chacun des locuteurs en fonction de la condition de bruit.....	168
6.8	Variation des distances euclidiennes permettant d'opposer les voyelles produites selon les traits de lieu d'articulation, d'aperture et d'arrondissement en fonction de la condition de bruit.....	169
8.1	Données de validation du MEM de chacun des sujets.....	186

## RÉSUMÉ

La vue des articulateurs que sont notamment la mâchoire et les lèvres, sans indice acoustique, permet de reconnaître bon nombre de phonèmes et dénote l'importance de la vision dans la perception de la parole. Plusieurs travaux ont par ailleurs mis en exergue le lien étroit unissant perception et production de la parole. La cécité constitue un paradigme de recherche privilégié pour étudier le rôle de la vision dans ces mécanismes de la parole. Nous avons donc choisi d'étudier la perception auditive et les caractéristiques acoustiques des productions des 11 voyelles orales du français québécois [i y u e ø o ε œ ɔ a ɑ] en position tenue isolée de 6 adultes présentant une cécité totale et congénitale et de 6 adultes normo-voyants. Une étude exploratoire du mouvement anticipatoire de constriction des lèvres lors de la production de séquences [iC<sub>n</sub>y] a également été menée auprès de 2 sujets par groupe. Nos objectifs ont consisté à décrire acoustiquement la perception des traits d'aperture, de lieu d'articulation et d'arrondissement des voyelles par les participants, à présenter l'organisation articulatoire-acoustique et acoustico-auditive des voyelles qu'ils ont produites et à détailler le décours temporel de leur coarticulation labiale anticipante. Notre méthodologie a impliqué des tests d'identification et de discrimination de voyelles synthétisées, des enregistrements acoustiques de productions de voyelles en position tenue isolée dans 2 conditions (en présence de bruit blanc de façon à réduire la rétroaction auditive, et en condition normale, sans bruit perturbateur) et des enregistrements audio-visuels de données géométriques des lèvres. Nous n'avons pas pu observer de différences majeures entre les deux groupes de sujets. Par contre, des tendances ont pu être observées lors de la description de leur perception; pour certains contrastes d'aperture, les sujets aveugles ont présenté des frontières catégorielles de moindre valeur, des pentes Probit généralement inférieures et des pics de discrimination supérieurs. Beaucoup de variabilité inter-individuelle a été observée dans les productions des sujets, mais peu de différences inter-groupes ont été observées. De façon générale, l'AVS des sujets aveugles était inférieur à celui des voyants et ce, dans les deux conditions de bruit. Les données géométriques des lèvres des deux groupes de sujets concordent bien avec les principes établis du Modèle d'expansion du mouvement relatif à la planification motrice de la constriction labiale; les sujets aveugles présentent cependant des pentes légèrement plus faibles que celles des sujets voyants. Des recherches doivent être poursuivies auprès des populations enfant et adulte, voyante et aveugle, afin de mettre en lumière de façon plus précise le rôle de la vision dans les mécanismes de production et de perception de la parole.

Mots-clés : vision, cécité, perception de la parole, production de la parole, acoustique, articulatoire, voyelles, coarticulation.



## INTRODUCTION

Dès sa naissance, l'enfant est baigné dans un univers de sensations qui lui sont transmises par le toucher, l'audition et la vision. C'est notamment à partir des informations fournies par ces sens qu'il construit ses représentations du monde et qu'il se bâtit une identité propre. Le développement de la parole survient parallèlement à ces explorations sensorielles et se nourrit à travers elles. Pour un individu normo-entendant et normo-voyant, la situation de communication parlée la plus naturelle est celle qui fait interagir des individus dans une scène audio-visuelle, où le signal acoustique de la parole du locuteur et des ses interlocuteurs est véhiculé par le canal auditif et où certaines informations articulatoires des interlocuteurs sont accessibles par le biais de la vision (configurations et mouvements de la mâchoire, des lèvres, des dents, de la langue).

Des privations sensorielles congénitales peuvent contraindre l'accès à certains indices pertinents à la production et à la perception de la parole audio-visuelle et en influencer le développement. Par exemple, la surdité entrave l'accès aux indices acoustiques, la cécité empêche l'utilisation des indices visuels et la surdi-cécité représente un obstacle de taille à la communication audio-visuelle; les individus qui présentent de telles privations sensorielles s'appuient alors sur les modalités intactes, respectivement les modalités visuelle, auditive et tactile.

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous sommes penché sur le rôle des indices visuels et acoustiques dans la perception et la production de la parole; la cécité est alors apparue comme un paradigme de recherche privilégié. Pour ce faire, nous avons recruté 6 adultes aveugles depuis la naissance et 6 adultes normo-voyants, auprès de qui nous avons tenté d'étudier le rôle de la vision dans la perception et la production des 11 voyelles orales du français québécois. Nous avons procédé à 2 types de tests de perception avec chacun d'eux: un test d'identification de voyelles synthétisées et un test de discrimination de type AXB de voyelles synthétisées. Aussi, nous avons effectué des enregistrements acoustiques des productions des voyelles en position tenue isolée en faisant varier l'accès à la rétroaction



auditive des locuteurs. Des enregistrements audio-visuels ont également été faits dans le but d'obtenir des données géométriques des lèvres lors du passage d'une cible vocalique à une autre dans le cadre de la coarticulation survenant dans la parole continue. Ce protocole expérimental visait à remplir les objectifs de recherche suivants :

- Caractériser les capacités d'identification des voyelles des sujets voyants et aveugles selon les traits d'aperture, de lieu d'articulation et d'arrondissement.
- Caractériser les capacités de discrimination des voyelles des sujets voyants et aveugles selon les traits d'aperture (de [i] à [e]), de lieu d'articulation (de [y] à [u]) et d'arrondissement (de [i] à [y]).
- Décrire l'organisation acoustico-articulatoire du trapèze vocalique dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) des productions de tous les sujets voyants et aveugles.
- Décrire l'organisation auditivo-acoustique du trapèze vocalique dans le plan F1-F0 versus F2-F1 (en Hertz) des productions de tous les sujets voyants et aveugles.
- Tester le Modèle d'expansion du mouvement (MEM) sur les données cinématiques de 2 sujets aveugles et 2 sujets voyants dans le cadre d'une description de la coarticulation labiale anticipante.
- Relier les données de perception et de production de chacun des sujets et de chacun des groupes et démontrer l'impact de la perception (acoustique et visuelle) sur la production des voyelles.

Le chapitre 1 fournit un rappel théorique des notions phonétiques préalables, de la coarticulation labiale anticipante, des preuves du caractère bimodal de la parole et de la pertinence de l'étude du rôle de la vision.

Au chapitre 2 sont présentées les théories de la perception de la parole et des études expérimentales ayant investigué le lien entre la production et la perception de la parole.

Le chapitre 3 recense des études ayant été menées auprès de populations aveugles et voyantes et qui ont cherché à décrire la perception auditive et les caractéristiques des productions d'individus n'ayant pas accès à la vision.

À la lumière de ces considérations théoriques et expérimentales, le chapitre 4 propose la description du protocole expérimental ayant permis de répondre aux objectifs de recherche mentionnés plus tôt.

Au chapitre 5 est présentée l'analyse des tests perceptifs administrés à nos 12 participants. Un portrait de la perception des contrastes vocaliques d'aperture, de lieu

d'articulation et d'arrondissement est fourni pour chacun des groupes de sujets à partir de la discussion de leurs trapèzes vocaliques auditifs, de leurs frontières catégorielles et de leurs pics de discrimination.

Au chapitre 6, nous présentons une analyse individuelle des trapèzes vocaliques des voyelles produites par chacun des sujets. Cette description est d'abord effectuée dans une perspective acoustico-articulatoire, plus auditivo-acoustique, et tend à rendre compte de façon comparative des productions des 2 groupes de sujets.

Le chapitre 7 vise à faire à faire le lien entre les données présentées aux chapitres 5 et 6, en investiguant les relations entre la production et la perception de la parole.

Au chapitre 8 sont présentés les résultats de l'étude exploratoire du mouvement anticipatoire d'arrondissement des lèvres ayant permis de tester le Modèle d'expansion du mouvement.

Finalement, le chapitre 9 constitue une synthèse des résultats obtenus dans le cadre de ce mémoire et suggère des conclusions, des limites et des pistes de recherches ultérieures.

## PREMIÈRE PARTIE

### ÉTAT DE LA QUESTION

## CHAPITRE I

### MULTIMODALITÉ ET MULTISENSORIALITÉ DE LA PAROLE

Ce mémoire s'inscrit dans les efforts d'exploration des mécanismes de la communication parlée et plus précisément, de l'aspect multisensoriel de la production de la parole et du caractère multimodal de sa perception. Nous définissons la bimodalité comme la participation des modalités auditive et visuelle au traitement perceptif des informations transmises par la parole audio-visuelle. La multisensorialité de la parole s'applique au versant de la production de la parole et évoque l'activation en temps réel des mécanismes auditifs du locuteur et de l'interlocuteur, de la vision lors de la mise en place de configurations articulatoires accessibles visuellement à l'interlocuteur, et les sensations haptiques perçues par le locuteur au moment de la production. Dans le cadre de la multimodalité et de la multisensorialité de la parole, nous nous attardons au rôle de la modalité visuelle dans la production et la perception de la parole. Les voyelles orales du français québécois, dont ce chapitre fournit une brève description acoustique et articulatoire, constituent le substrat de parole étudié.

En plus de proposer un rappel des notions phonétiques préalables, des éléments théoriques et expérimentaux apportant des preuves du caractère bimodal de la perception de la parole sont présentés au cours de ce chapitre.

#### 1.1 Notions phonétiques préalables

La parole naturelle continue est produite grâce aux actions combinées et coordonnées de plusieurs articulateurs visibles et non visibles. La parole n'est pas audible sur toute sa durée; elle est également composée de silences (plosives dévoisées, pauses) durant lesquels le locuteur effectue notamment des gestes articulatoires d'anticipation dont certains sont

visibles. En somme, certaines parties des mouvements de la parole sont exclusivement visibles, certaines sont exclusivement audibles et d'autres sont audibles et visibles à la fois (Abry et Schwartz, 1988-1989).

Au cours de cette section, nous fournissons une brève description des concepts phonétiques de base permettant de définir l'objet d'étude, soit les voyelles orales du français québécois. Sont également présentés les modèles d'anticipation proposés dans la littérature. Ces descriptions tentent alors de rendre compte du caractère acoustique, auditif, visuel et optique des produits de la production et de la perception de la parole.

### 1.1.1 Description articuloire

Les mécanismes de phonation sont reliés à la vibration des cordes vocales et à l'articulation. Ils donnent lieu à des produits acoustiques intelligibles et récupérables auditivement par l'auditeur. Lors de la phonation, la montée du diaphragme du locuteur projette l'air des poumons vers la trachée, le larynx et la glotte, pour ensuite atteindre le conduit vocal formé du pharynx et des cavités orales et nasales. C'est la géométrie du conduit vocal, dictée par les mouvements des articulateurs que sont notamment la mâchoire, les lèvres, la langue et le vélum, qui confère aux voyelles produites des caractéristiques qui leur sont propres. La phonétique expérimentale moderne dispose de techniques et d'instruments spécialisés contribuant à fournir une taxonomie sophistiquée des paramètres articuloires. Les enregistrements audio-visuels, la kinématographie par rayons X, la kymographie, l'électropalatographie, l'électrolymographie, la labiographie et l'articulographie électromagnétique (EMA) ne sont que quelques-uns des moyens expérimentaux utilisés pour explorer la physiologie et le contrôle moteur des articulateurs. Cette section visant plutôt à fournir une description théorique et synthétique des paramètres articuloires en jeu dans cette étude, nous nous attardons aux critères de description de l'articulation des voyelles suggérés par Martin (1996), soit :

- le voisement
- le mode articuloire
- le lieu d'articulation
- la résonance labiale
- les articulateurs en jeu
- la résonance nasale

Notre intérêt porte sur les 11 voyelles orales du français québécois [i y u e ø o ε œ ɔ a], si bien que seuls les 5 premiers critères s'appliquent. En effet, les conditions expérimentales que nous proposerons au chapitre 4 ne font intervenir ces voyelles qu'en position tenue isolée et dans une chaîne parlée rigoureusement contrôlée, assurant la vibration continue des cordes vocales et ainsi, le respect du critère de voisement.

Le mode articulaire des voyelles s'exprime quant à lui en terme d'ouverture buccale, notamment provoquée par le déplacement vertical de la mâchoire. Le trait d'aperture est donc tributaire de l'espace compris entre le dos de la langue et la voûte palatine. En français québécois, nous distinguons les voyelles fermées [i y u] des voyelles mi-fermées [e ø o], des voyelles mi-ouvertes [ε œ ɔ], des voyelles ouvertes [a ɑ].

Le lieu d'articulation est déterminé par la direction du dos de la langue par rapport à la voûte palatine et définit le trait d'antéro-postériorité des voyelles. Lorsque la constriction a lieu dans la partie postérieure de la bouche, de telle sorte que la masse linguale se dirige vers la région post-palatale ou vélaire, les voyelles postérieures [u o ɔ ɑ] peuvent être produites. Les voyelles [i y e ø ε œ a] sont dites antérieures car la constriction se produit dans la partie antérieure de la bouche, la masse linguale étant dirigée vers la région pré-palatale de la bouche.

La résonance labiale se manifeste par la projection des lèvres vers l'avant, entraînant l'allongement de la cavité buccale. Si la protrusion des lèvres peut être plus ou moins importante d'un locuteur à l'autre lors de la production des voyelles [y u ø o œ ɔ], la constriction des lèvres leur confère le trait d'arrondissement. Les voyelles [i e ε a ɑ] sont considérées comme non arrondies étant donné le fait qu'elles ne font pas intervenir la cavité labiale, les lèvres étant rétractées lors de leur production.

À la lumière de cette brève description des critères permettant de classifier les voyelles, rappelons que ce sont les dimensions de base que sont les traits d'aperture, d'antéro-postériorité et d'arrondissement, tels que présentés au tableau 1.1, qui retiendront notre attention dans le cadre du présent mémoire.

Tableau 1.1  
Classification articulatoire des voyelles orales du français

Aperture	Antérieures		Postérieures	
	Non arrondies	Arrondies	Non arrondies	Arrondies
F1 ↓ Fermées	i	y		u
↓ Mi-fermées	e	ø		o
↓ Mi-ouvertes	ɛ	œ		ɔ
↓ Ouvertes	a		ɑ	
F2				

### 1.1.2 Description articulatoire

Au tableau 1.1 sont incluses les notations F1 et F2, qui font intervenir des notions d'acoustique. Si la section précédente a été consacrée aux configurations articulatoires des voyelles à l'étude, celle-ci porte sur leur description acoustique. Cette description débute au niveau de la glotte, où les mouvements successifs d'ouverture et de fermeture des cordes vocales fournissent des impulsions aux molécules d'air et les font entrer en vibration et acquérir de l'énergie, modifiant alors de façon périodique la pression de l'air et générant une onde sonore. La fréquence fondamentale de l'onde (désormais notée F0), qui est responsable de la sensation de hauteur de la voix, est fonction de ces vibrations laryngées. Des harmoniques accompagnant le fondamental sont abaissées et renforcées le long du passage de l'air dans les cavités supra-glottiques selon la géométrie de ces dernières. Les zones de renforcement des harmoniques forment des maxima spectraux, les formants, et nous référerons désormais à F1, F2, F3 et F4 pour désigner les 4 premiers formants, qui revêtent une fonction linguistique.

Dans le cadre d'une description acoustique des productions vocaliques d'un locuteur, l'unité de mesure appropriée des formants est le Hertz, puisqu'elle réfère à la dimension physique de la production, soit au rapport du nombre de cycles d'ouverture et de fermeture des cordes vocales par seconde. Par contre, dans le cadre d'une analyse auditive, qui fait intervenir des mécanismes physiologiques d'audition, nous utilisons plutôt l'unité de mesure qu'est le Bark. En effet, il a été montré que le traitement des fréquences par le système auditif n'est pas linéaire. La perception de la hauteur et du timbre des sons est tributaire de la structure physique de la membrane basilaire dans l'oreille interne. Ainsi, le système auditif

est davantage sensible à des changements de fréquences dans la partie inférieure des fréquences audibles et ces corrélats physiologiques ont d'importantes répercussions sur la perception du spectre de la parole. La conversion des valeurs de fréquences de Hertz à Bark s'effectue à l'aide de la formule suivante (Schroeder, Atal et Hall, 1979) :

$$F_{Bark} = 7 * a \sinh\left(\frac{F_{Hertz}}{650}\right)$$

La figure 1.1 permet de visualiser la relation non linéaire qui existe entre l'échelle acoustique des Hertz et l'échelle acoustico-auditive des Bark.

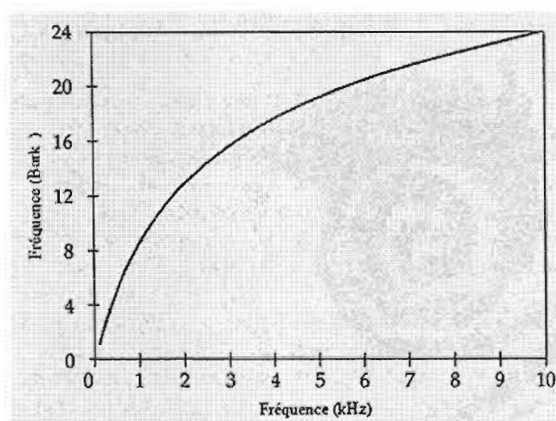


Figure 1.1 Relation non linéaire entre l'échelle des Hertz et l'échelle des Bark. (Adaptée de Johnson, 1997.)

### 1.1.3 Corrélats des paramètres articulatoires et acoustiques

Les paramètres acoustiques et articulatoires que nous avons évoqués au cours des deux sections précédentes sont intimement reliés. Qui plus est, ces paramètres ont des conséquences dans les domaines acoustique et visuel. Étant donné que le cadre de ce mémoire nous porte à nous intéresser non seulement aux configurations articulatoires privilégiées par nos locuteurs et aux conséquences acoustiques de ces manœuvres articulatoires, mais aussi et surtout à l'influence de l'accès visuel à ces caractéristiques, il nous semble pertinent de présenter ce que Robert-Ribes et al. (1998) appellent les corrélats optico-visuels des variables articulatoires. Le tableau 1.2 présente un résumé des corrélats optico-visuels et acoustico-auditifs et la figure 1.2 illustre les paramètres géométriques articulatoires A, B, S, F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub> qui y sont mentionnés.



Tableau 1.2  
Corrélat visuels et acoustiques

Traits articulatoires	Corrélat visuels	Corrélat acoustico-auditifs
Aperture	Hauteur interlabiale (B)	F1
antéro-postériorité	-	F2
Arrondissement	Largeur interlabiale (A) Hauteur interlabiale (B) Aire aux lèvres (S) Protrusion (F <sub>1</sub> et F <sub>2</sub> )	F3 (F1 et F2)

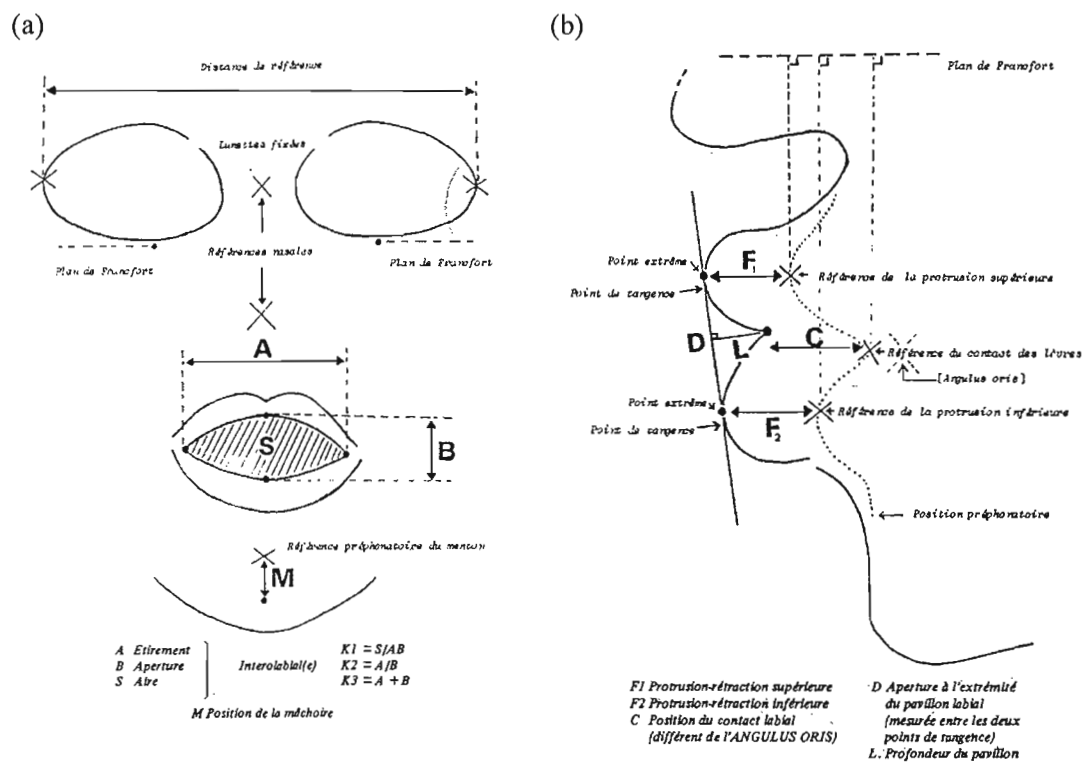


Figure 1.2 Paramètres labiaux (de face en a. et de profil en b.) utilisés dans la procédure de mesure de la géométrie des lèvres. (Tirées de Abry et al., 1980 : 108-109.)

Aux variations d'aperture sont corrélées des variations dans la hauteur interlabiale, soit dans le paramètre B (voir figure 1.2) identifié par Abry et al. (1980). Au niveau acoustique, ces variations d'aperture sont corrélées positivement avec les valeurs de F1. La position avant ou arrière de la langue dicte le lieu d'articulation des voyelles, mais n'a pas de corrélat optico-visuel étant donné que la masse linguale est un articulateur peu accessible visuellement pour un interlocuteur. Par contre, cette position de la langue a beaucoup

d'influence sur la taille et la forme de la cavité buccale et est donc corrélée à F2. L'arrondissement impliquant la création d'une cavité labiale, et les lèvres se trouvant à l'extérieur du conduit vocal, plusieurs corrélats optico-visuels lui sont associés. Ainsi, l'arrondissement est notamment corrélé à la largeur, la hauteur et l'aire interlabiales, de même qu'à la protrusion (respectivement les paramètres A, B, S et F sur la figure 1.2). Au point de vue acoustique, l'arrondissement est principalement corrélé à la chute de F2, mais également à celle de F1 et de F3 (nous y reviendrons à la section 4.3.1.5).

Le tableau 1.3 fait état de façon très sommaire des corrélats auditifs établis à partir des variables acoustiques tout juste mentionnées. C'est ainsi qu'aux différentes valeurs de formants (F1, F2, F3, F4) est corrélé le timbre des sons, et qu'aux variations dans l'amplitude de l'onde est corrélée la sensation auditive de la force des sons.

Tableau 1.3  
Corrélats auditifs des variables acoustiques

<b>Variables acoustiques</b>	<b>Corrélats auditifs</b>
Valeur des formants	Timbre des sons
Amplitude	Force des sons

Ces corrélats optico-visuels et acoustico-auditifs fournissent une description générale des processus d'intégration des informations fournies par les 2 modalités et justifient l'utilisation de représentations graphiques F1 versus F2 (en Hertz) pour illustrer la distribution acoustique des productions effectuées par des locuteurs.

Il est toutefois pertinent de mentionner les résultats obtenus par Boë, Perrier et Morris (1992) dans le cadre de leur étude dont les objectifs étaient d'identifier la nature des gestes articulatoires audibles et non audibles et de déterminer lesquels, parmi ces gestes, participent à la facilitation des manœuvres articulatoires et lesquels participent plutôt au contrôle de la cible acoustique. Pour ce faire, ils ont procédé à des simulations de variations articulatoires à l'aide du modèle articulatoire VLAM (« Variable Linear Articulatory Model ») conçu par Maeda (1989). Ce modèle permet de simuler la croissance non uniforme du conduit vocal et inclut le contrôle de 4 articulateurs (lèvres, mâchoire, langue, larynx) par le biais de 7 paramètres (protrusion des lèvres « LipP », hauteur des lèvres « LipH », hauteur de la mâchoire « Jaw », position antéro-postérieure du corps de la langue « Body », position haut-bas du dos de la langue « Dorsum », position haut-bas de l'apex « Apex » et hauteur du

larynx « Lx »). Nous reviendrons à la paramétrisation de ce modèle articulaire au chapitre 4, puisque c'est celui-ci qui a servi à l'élaboration des stimuli utilisés lors de nos tests perceptifs.

Pour chacun des prototypes des 10 voyelles orales du français [i y u e ø o ε œ ɔ a]<sup>1</sup>, Boë, Perrier et Morris (1992) ont généré des micro-variations acoustiques en manipulant chaque paramètre de façon indépendante afin de pouvoir relier l'espace articulaire à l'espace acoustique. Ces simulations leur ont permis de déterminer l'« audibilité » de certains gestes sur certaines voyelles. Le tableau 1.4 présente les voyelles pour lesquelles les gestes articulatoires ne sont pas audibles.

Tableau 1.4  
Gestes articulatoires peu audibles (Selon Boë, Perrier et Morris, 1992.)

Gestes articulatoires peu audibles	Pour les voyelles
Séparation labiale	[i e]
Protrusion labiale	[i e ε a y ø œ u o ɔ]
Hauteur de la mâchoire	[o u]
Position haut/bas du dos de la langue	[i e ε a ø œ u, o]
Position haut/bas de l'apex de la langue	[i y œ u]
Hauteur du larynx	[i e ε a y ø œ u o ɔ]

Le tableau 1.5 présente les formants et les voyelles influencés par l'action de certains gestes articulatoires, alors qualifiés d'audibles.

<sup>1</sup> Dans les simulations effectuées à l'aide de VLAM qui sont présentées ici et qui sont reprises dans la méthodologie, il est question des 10 voyelles orales du français issus des prototypes de voyelles du français hexagonal [i y u e ø o ε œ ɔ a], alors que dans notre description des voyelles orales du français québécois, il est plutôt question des 11 voyelles du français québécois, puisque cette variété de français inclut une voyelle additionnelle, la postérieure non-arrondie [ɑ].

Tableau 1.5  
Gestes articulatoires audibles (Selon Boë, Perrier et Morris, 1992.)

Gestes articulatoires audibles	Pour les formants	Pour les voyelles
Déplacement avant-arrière du corps de la langue	F2 F1 F3	[i e ε a y ø œ u o ɔ] [i e œ ɔ] [i e ε a ø œ]
Séparation labiale	F1 F2 F3	[ε a y ø œ u o ɔ] [u o] [y]
Hauteur de la mâchoire	F1 F2	[i ε y ø œ] [ε a ø œ ɔ]
Déplacement haut-bas du dos de la langue	F3	[e y u]

Ce dernier tableau montre bien l'importance des mouvements du corps de la langue vers l'avant ou vers l'arrière de la bouche sur toutes les voyelles étudiées. La séparation entre les lèvres est d'une importance acoustique marquée pour toutes les voyelles sauf [i e] et ainsi l'est la hauteur de la mâchoire pour toutes les voyelles sauf pour [o u]. Mentionnons que la position du corps de la langue est directement responsable du lieu d'articulation des voyelles, alors que la hauteur de la mâchoire intervient dans la dimension de la constriction des lèvres, directement reliée à l'arrondissement et à l'aperture (Lisker et Rossi, 1992; Uomini, 2000).

Aussi, la classification du tableau 1.4 démontre que bien que le geste de protrusion labiale soit toujours inclus dans les descriptions vocaliques traditionnelles, son influence acoustique sur les voyelles orales du français n'est pas très grande. Les auteurs font alors l'hypothèse que « s'il n'est pas audible, [il] est utilisé pour la précision du contrôle de l'aire labiale. Il est en effet possible de produire des [y u] lèvres non protruses, mais, dans ce cas, le contrôle de l'aire aux lèvres, s'il est assuré par le seul déplacement de la mâchoire, est beaucoup moins précis sans la proprioception qu'offre la musculature labiale. » (Boë, Perrier et Morris, 1992 : 152-153). La question des mouvements articulatoires reliés à l'arrondissement soulève des questions intéressantes sur la planification motrice et c'est ce à quoi s'attache la prochaine section.

#### 1.1.4 Coarticulation labiale anticipante et modèles d'anticipation

Jusqu'à présent, nous avons abordé les caractéristiques des voyelles orales dans la perspective de leur production en position tenue isolée en tant que cibles. Or, il convient également d'investiguer la coordination motrice des articulateurs liée au passage d'une cible à l'autre, puisqu'elle nous permet de nous approcher davantage de l'étude du flux de parole naturelle. Pour ce faire, nous nous servons des voyelles [i y], dont les caractéristiques articulatoires ont été décrites au cours des sections précédentes. En effet, le passage de la cible [i], voyelle fermée non arrondie antérieure, à la cible [y], voyelle fermée arrondie antérieure, fait intervenir un phénomène de coarticulation labiale anticipante. Plus précisément, la constriction et la protrusion des lèvres, intrinsèques à la production de la cible [y], sont amorcées avant la réalisation de cette seconde cible et ce, pour achever une planification des segments de parole et obtenir une fluidité articulatoire et perceptive.

De nombreuses études ont porté sur l'anticipation articulatoire et perceptive ayant cours dans le passage de [i] à [y]. Ce passage peut prendre la forme de diverses séquences  $[iC_ny]$ ,  $C$  pouvant prendre la forme de consonnes intervocaliques et l'indice  $n$  indiquant le nombre de consonnes intervocaliques, généralement compris entre 0 et 5. Au fil des années, 4 façons de modéliser dans le temps le geste de protrusion labiale de l'adulte ont été proposées et nous présentons un court examen de chacune d'elles. La figure 1.3 permet de comparer les 3 premiers modèles présentés.

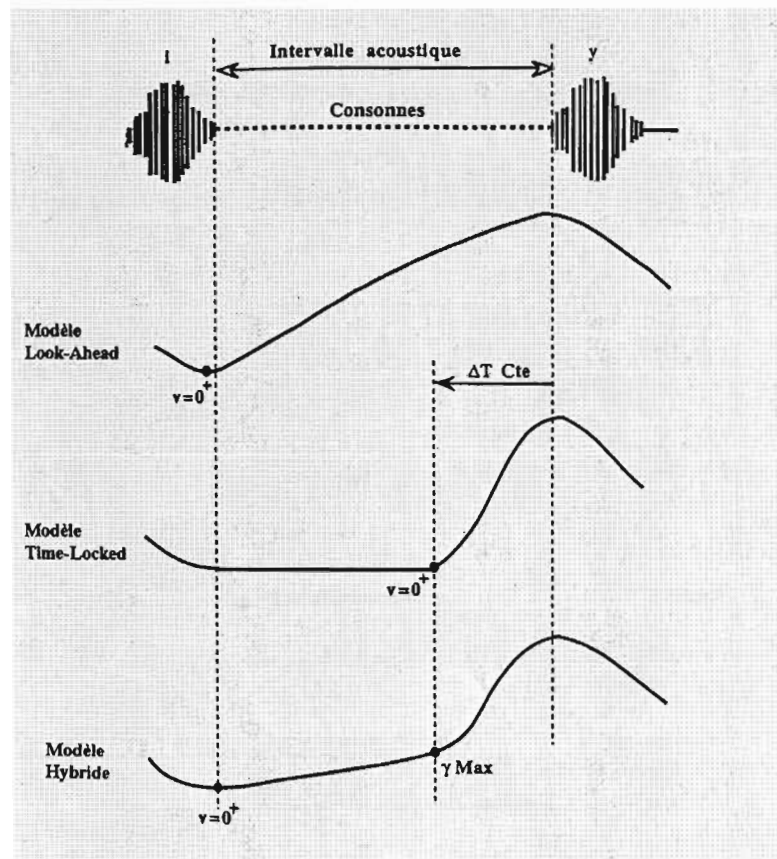


Figure 1.3 Comparaison de 3 modèles d'anticipation du geste de protrusion de la lèvre supérieure durant la production de l'intervalle consonantique intervocalique. (Tirée de Perkell, 1990. Adaptée par Cathiard, 1994.)

Henke (1966) a proposé le modèle « look-ahead » (noté LA) pour l'anglais, en stipulant que le mouvement d'arrondissement labial à compléter lors de la réalisation de la voyelle arrondie était amorcé dès la fin acoustique de la voyelle non arrondie. Selon ce modèle, le décours temporel de ce geste d'arrondissement est proportionnel à la grandeur de l'intervalle consonantique acoustique compris entre les 2 cibles vocaliques.

Bell-Berti et Harris (1982) ont quant à eux proposé le modèle « time locked » (noté TL). Ce dernier se différencie du modèle « look-ahead » par le fait qu'il suppose plutôt une date fixe à l'amorce du mouvement d'arrondissement par rapport au début acoustique de la voyelle arrondie. Dans ce modèle, le nombre de consonnes intervocaliques n'interfère pas dans la durée du mouvement d'arrondissement.

Perkell et Chiang (1986) ont voulu allier les hypothèses contradictoires des 2 modèles proposés précédemment, ce qui a donné lieu au modèle « hybride ». Ce modèle reprend donc l'idée du modèle « look-ahead » d'amorce du mouvement d'arrondissement dès la fin de la voyelle non arrondie en stipulant alors qu'il est d'abord lent et progressif. Il la combine à l'idée de rigidité temporelle du mouvement d'arrondissement proposée dans le modèle « time-locked » en décrivant la poursuite du mouvement d'arrondissement comme rapide, à date fixe par rapport au début acoustique de la voyelle arrondie.

L'examen détaillé des données de l'anticipation d'arrondissement des lèvres de 4 locuteurs anglophones par Perkell et Matthies (1992) a révélé beaucoup de variabilité en regard de la pente de leur mouvement labial anticipatoire, si bien qu'il a conduit au rejet des 3 modèles présentés plus tôt. Abry et Lallouache (1995), pour apporter une réponse alternative à l'observation de cette variabilité, ont repris les données audio-visuelles d'un locuteur du français acquises en 1991 et ont enrichi leur base de données avec des nouveaux enregistrements effectués avec le même locuteur et 2 locuteurs additionnels. Nous nous attardons au protocole expérimental employé par ces auteurs, illustré à la figure 1.4, puisqu'il a fortement inspiré celui que nous avons utilisé lors de notre cueillette de données.

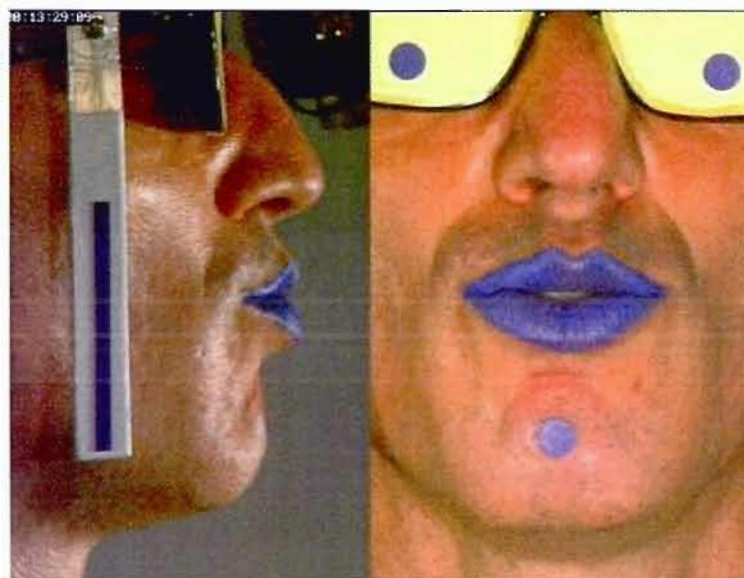


Figure 1.4 Montage expérimental des enregistrements audio-visuels de face et de profil.  
(Tirée de <http://www.icp.inpg.fr/~savario/activite/video.html>.)

2 caméras ont permis d'acquérir des images de face et de profil du locuteur, éclairé par une lumière halogène de 800 watts. Le locuteur portait un casque qui lui permettait de garder la tête immobile, des lunettes fumées sur lesquelles était apposée une règle et ses lèvres étaient peintes en bleu. Le locuteur devait effectuer 12 répétitions de la phrase porteuse « Ces deux Sixtes sculptèrent », contenant la séquence cible [ikstsky], et autant de répétitions de ce même type de phrase, où les séquences cibles étaient plutôt [ikssky], [iksky], [ikky], [iky] et [iy]. Cette variation graduelle de la suite consonantique intervocalique servait de paradigme d'exploration des mouvements anticipatoires d'arrondissement.

Des manipulations ont dû être effectuées sur les signaux audio et vidéo afin d'en extraire les informations acoustiques et temporelles relatives au mouvement anticipatoire de protrusion labiale, telles qu'illustrées à la figure 1.5.

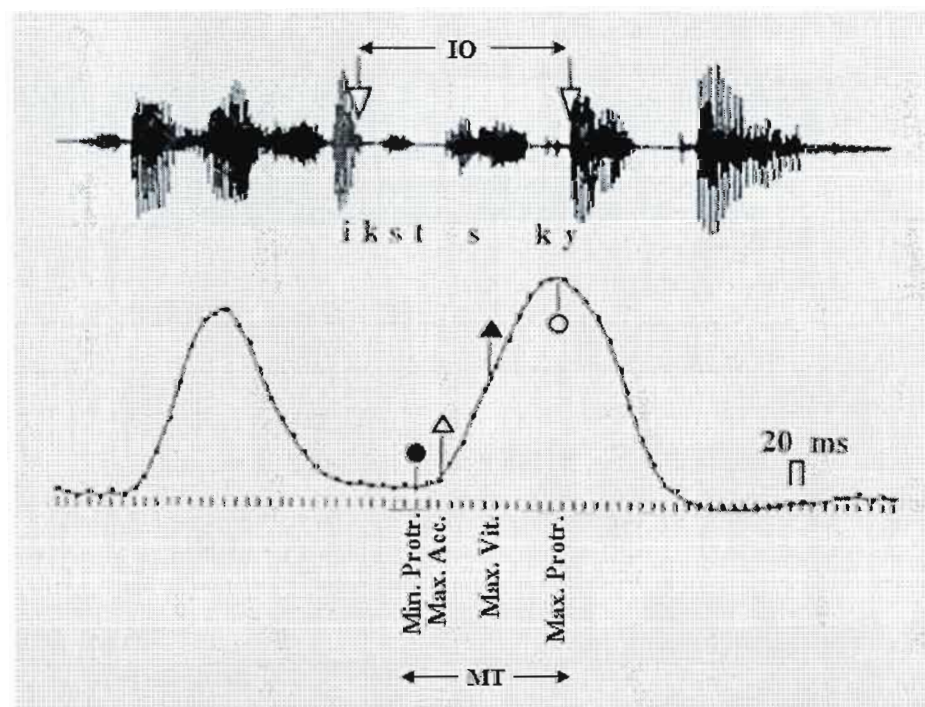


Figure 1.5 Étiquettes acoustiques et cinématiques sur un signal de la séquence [ikstsky]. (Adaptée de Abry et Lallouache, 1995.)

Les événements acoustiques suivants ont été étiquetés sur le signal audio :

- « Voice Vocalic Termination » (événement VVT)  
Fin acoustique de la voyelle [i]; il y a alors disparition de la structure formantique vocalique.



- « Voice Vocalic Onset » (événement VVO)  
Début acoustique de [y]; il y a alors apparition de la structure formantique vocalique.
- « Intervalle d'obstruence » (IO)  
Durée définie par la différence entre le VVO et le VVT.
- « Consonantal Frication Onset » (CFO)  
Détente de la dernière consonne intervocalique; s'amorce alors le bruit de plosion.

Les événements cinématiques suivants ont été identifiés sur les dérivées première (vitesse du mouvement de protrusion) et seconde (accélération du mouvement de protrusion) des données issues des images des mouvements de la lèvre supérieure :

- Événement « Min. Protr. »  
Début du mouvement de protrusion; l'amplitude de la protrusion est alors minimale.
- Événement « Max. Acc. »  
Maximum de l'accélération.
- Événement « Max. Vit »  
Maximum de vitesse.
- Événement « Max Protr. »  
Maximum de protrusion.

Ces paramètres permettent de définir le « temps de mouvement » (noté MT, de l'anglais, « Movement Time »), qui correspond à l'intervalle de temps compris entre le minimum et le maximum de protrusion.

Abry et Lallouache (1995) ont remarqué que chez leurs sujets, pour la séquence [iy], le passage d'une cible à l'autre faisait intervenir un mouvement de protrusion d'une durée moyenne de 147 millisecondes; cet intervalle de temps constitue le coefficient d'expansion et est spécifique au locuteur. De plus, ils ont noté que la durée du mouvement de protrusion, initié durant ou après la production de [i], croissait de façon linéaire en fonction du nombre de consonnes intervocaliques. Dans un graphique tel celui en a) de la figure 1.6, cette relation linéaire entre la durée de l'intervalle d'obstruence (IO) et la durée du mouvement (MT) s'exprime par une courbe dont la valeur de la pente est également spécifique au locuteur.

Par l'établissement de cette relation, les auteurs ont confronté les données obtenues auprès de 3 de leurs 4 locuteurs aux modèles « time-locked » et « look ahead ». Afin de

rendre compte de la variabilité interindividuelle quant à l'anticipation du geste d'arrondissement, ils ont proposé que le mouvement de protrusion de la lèvre supérieure puisse s'étendre de façon linéaire en fonction du nombre de consonnes intervocaliques, additionnel à une « constante d'exécution », déterminée par la durée du mouvement de protrusion labiale pour effectuer la séquence [iy].

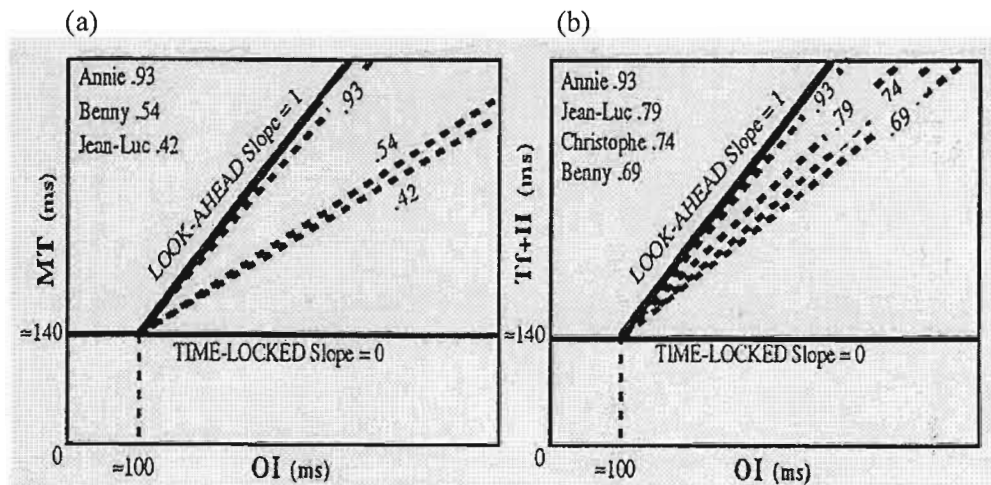


Figure 1.6 Modèle d'expansion du mouvement (MEM). En a), appliqué au geste de protrusion labiale. En b), appliqué au geste de constriction labiale. (Tirée de Abry, Lallouache et Cathiard, 1996 : 101.)

Ainsi, ils ont proposé que, en regard du geste anticipatoire de protrusion labiale, les principes suivants soient à la base du Modèle d'expansion du mouvement (désormais noté MEM) :

« [...] *phénoménologiquement*, le mouvement de protrusion : (i) atteint son max. plus ou moins aux alentours du début de la voyelle arrondie [y]; (ii) commence de plus en plus tôt, par rapport à [y], en fonction de l'augmentation du nombre de consonnes intervocaliques (entraînant généralement dans son expansion ses événements de pic d'accélération et de vitesse); (iii) peut commencer après [i] [...] » (Abry et Lallouache, 1995 : 97.)

Si le MEM a d'abord été élaboré à partir de mesures de protrusion labiale, Abry, Lallouache et Cathiard (1996) l'ont adapté à des données d'aires aux lèvres (paramètre S de la figure 1.2) suite à l'observation, chez un de leurs sujets de leur étude précédente (Abry et Lallouache, 1995), de la quasi-absence de différences de protrusion entre la production de [i] et de [y]. C'est d'ailleurs à cette version du modèle que nous nous attachons dans notre partie expérimentale. Les événements articulatoires y sont définis comme suit :

- Événement « Maximum d'aire »  
Aire aux lèvres maximale (à proximité de la production de la voyelle [i]).
- Événement « 10% de chute »  
Diminution de 10% de la différence d'aire entre [i] et [y] (à proximité de la production de la voyelle [i]).
- Événement « 90% de chute »  
Diminution de 90% de la différence d'aire entre [i] et [y] (à proximité de la production de la voyelle [y]).
- Événement « Minimum d'aire »  
Aire aux lèvres minimale; constriction maximale (à proximité de la production de la voyelle [y]).
- Événement « 10% de remontée »  
Augmentation de 10% de la différence d'aire entre [i] et [y] (à proximité de la production de la voyelle [y]).

Ces événements permettent de définir le « time falling » (noté TF), qui correspond à l'intervalle compris entre les événements « 10% de chute » et « 90% de chute ». Le « hold » (noté H) est quant à lui défini par l'intervalle compris entre les événements « 90% de chute » et « 10% de remontée ». Le déroulement du geste de constriction labiale consiste donc en la somme de TF et de H (voir en ordonnées en b) à la figure 1.6).

Le tableau 1.6 permet de comparer les principes de base des 4 modèles proposés pour rendre compte du phénomène d'anticipation du mouvement d'arrondissement dans la production de séquences [iC<sub>n</sub>y].

Tableau 1.6  
Synthèse des 4 modèles d'anticipation de l'arrondissement pour des séquences [iC<sub>n</sub>y]

<b>Instigateurs</b>	<b>Modèle</b>	<b>Protrusion commence</b>	<b>Modélisation</b>
Henke, 1966	Look-ahead	Dès la fin de [i]	Pente=1
Bell-Berti et Harris, 1982	Time-locked	Toujours au même moment par rapport à [y]	Pente=0
Perkell et Chiang, 1986	Hybride	Dès la fin de [i]	Pente faible pour t=0 à t=x Pente abrupte pour t=x t=fin
Abry et Lallouache, 1995	Expansion du mouvement (MEM)	Plus tôt, plus n est grand.	Augmentation linéaire de la durée de mouvement de transition Coefficient d'expansion calculé sur [iy] Pente spécifique à chaque locuteur

Tel que mentionné précédemment, les mouvements anticipatoires de l'arrondissement sont visibles et récupérables par l'interlocuteur en situation de parole face à face. C'est notamment dans ce type de situation, où des indices visuels et acoustiques sont en présence pour faciliter la perception de la parole, que celle-ci est dite bimodale. La prochaine section vise donc à présenter des éléments expérimentaux fournissant des preuves du caractère bimodal de la perception de la parole, portant particulièrement notre attention sur l'information apportée par la modalité visuelle.

## 1.2 Bimodalité de la perception de la parole

Chez les malentendants, la modalité visuelle joue un rôle prépondérant dans la communication puisqu'elle permet d'accéder à la lecture labiale. Celle-ci rend possible la récupération partielle du message transmis par la parole. Si la modalité auditive est la modalité dominante de la parole, l'apport informationnel fourni par la modalité visuelle, notamment à propos des mouvements des lèvres, du menton, des joues et des dents, est non négligeable. Ainsi, l'accès visuel au visage du locuteur augmente la quantité et la qualité du décodage de l'information spectrale que celle-ci soit masquée par du bruit ambiant ou par une incapacité auditive de l'auditeur. Les informations visuelles relatives à la parole sont également récupérées par l'interlocuteur et ce, même dans des situations artificielles où des informations contradictoires sont fournies par les canaux auditif et visuel.

### 1.2.1 Perception de la parole audio-visuelle dans le bruit

Plusieurs études ont employé le paradigme de perception de la parole audio-visuelle présentée avec divers rapports signal sur bruit (désormais appelé SNR, de l'anglais, « signal to noise ratio ») afin de mesurer l'importance de l'information visuelle sur l'intelligibilité du message audio-visuel (Erber, 1975; Mohamadi et Benoît, 1992). Mentionnons les résultats obtenus par Robert-Ribes et al. (1998) auprès de 21 locuteurs francophones soumis à une tâche de perception de 7 voyelles orales naturelles du français [i e y ø u o a] en condition visuelle (présentation vidéo des mouvements des lèvres du locuteur), en condition audio (présentation audio de voyelles selon 7 SNR : sans bruit, 12 dB, 6 dB, 0 dB, -6 dB, -12dB et -18dB) et en condition audio-visuelle (présentation simultanée des mouvements des lèvres du

locuteur et des enregistrements audio selon les 7 mêmes SNR). Les résultats qu'ils ont obtenus sont présentés à la figure 1.7.

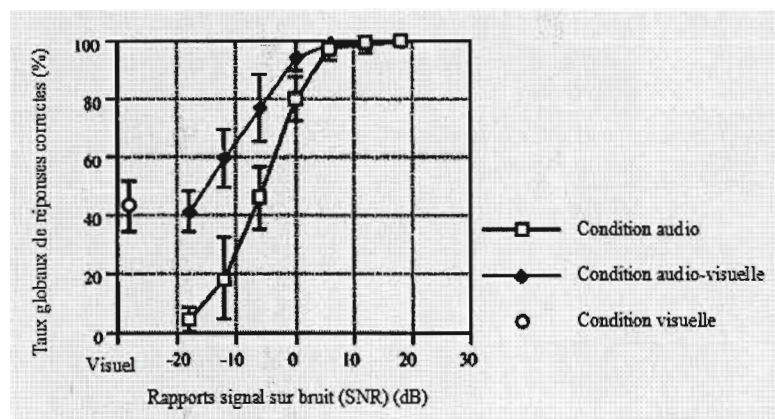


Figure 1.7 Taux de perception correcte en fonction de la condition de présentation des stimuli. (Adaptée de Robert-Ribes et al. 1998 : 3684.)

Nous remarquons qu'en condition audio-visuelle, la performance la plus faible, évidemment observée lorsque le SNR est le plus élevé, est très similaire à la performance en condition visuelle seule; c'est donc dire qu'à -18 dB, l'information acoustique n'est plus récupérable par l'audition et que la perception ne repose plus que sur la vision, qui permet de récupérer environ 40% de l'information vocalique. Par contre, pour les niveaux de bruit allant de -18 dB à +12 dB, les performances globales en condition audio-visuelle sont systématiquement plus élevées qu'en condition audio seule, marquant alors l'intelligibilité apportée par l'accès à la vision des mouvements des lèvres dans le bruit. La systématité de la supériorité des performances en présence d'informations acoustiques et visuelles est caractéristique de la propriété de synergie de la parole bimodale dans un environnement bruyant.

Les auteurs ont poussé l'analyse en présentant les résultats obtenus en condition audio et ceux obtenus en condition audio-visuelle pour chacun des 3 traits vocaliques, respectivement présentés en a) et en b) à la figure 1.8.

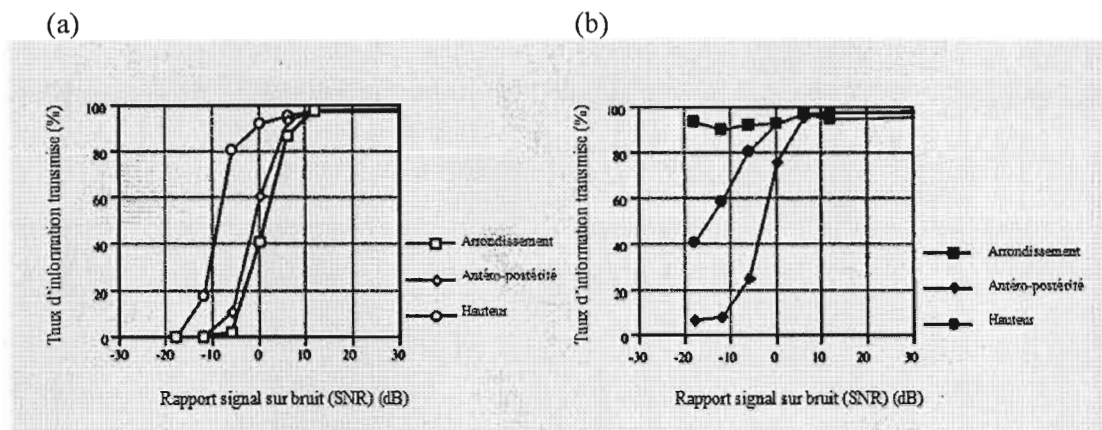


Figure 1.8 Taux d'information transmise en condition audio et en condition visuelle. (Adaptées de Robert-Ribes et al., 1998 : 3683-3684.)

Ces résultats révèlent que le trait de hauteur est le trait plus résistant au bruit, suivi du trait d'antéro-posteriorité, puis du trait d'arrondissement. En condition audio-visuelle, c'est plutôt le trait d'arrondissement qui est le plus robuste dans le bruit, suivi du trait de hauteur, puis d'antéro-posteriorité. Le tableau 1.7 présente l'ordonnancement de la robustesse de ces traits selon le canal concerné.

Tableau 1.7  
Robustesse des traits vocaliques pour chaque modalité

Canal	- robuste	+ robuste
Auditif	arrondissement	antériorité
Visuel	antériorité	hauteur

Cette échelle de robustesse des traits démontre la fiabilité offerte par le trait de hauteur, qui se trouve respectivement au premier et deuxième rang dans les canaux auditif et visuel; la fiabilité intermodale du trait de hauteur en fait d'ailleurs le trait le plus utilisé dans l'inventaire des voyelles du monde. Si le trait d'arrondissement est le moins robuste dans le canal auditif, c'est celui qui est le plus robuste dans le canal visuel, dénotant alors la complémentarité des canaux, c'est-à-dire la contribution additive des modalités pour l'atteinte optimale de l'intelligibilité (Robert-Ribes, Schwartz et Escudier, 1995).

Toujours dans cette idée de la résistance des différents traits au bruit, examinons la matrice de confusion consonantique de Summerfield (1987), présentée à la figure 1.9, qui



illustre la vulnérabilité des lieux d'articulation consonantiques au bruit, par opposition à la robustesse des traits de nasalité et de voisement.

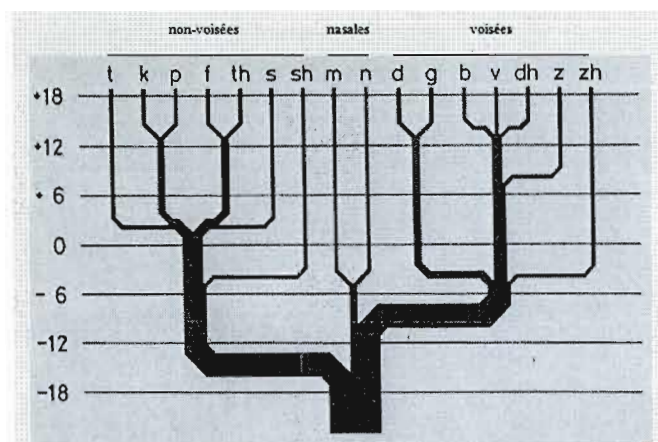


Figure 1.9 Matrice de confusion auditive des consonnes de l'anglais établie pour illustrer la perception des malentendants. (Adaptée de Summerfield, 1987 : 17.)

Dans la lignée des travaux portant sur la sensibilité à l'information acoustique apportée par l'accès aux mouvements visibles des lèvres, Schwartz, Berthommier et Savariaux (2004) ont conduit des expériences dans le but de démontrer l'existence d'une composante additionnelle à l'intelligibilité audio-visuelle, différente de la lecture labiale. Pour ce faire, ils ont d'abord soumis 8 sujets francophones à 3 conditions expérimentales (audio, visuelle, audio-visuelle). La partie audio était issue de stimuli naturels des séquences [y u ty tu ky ku dy du gy gu] masqués par du bruit masquant de foule dont la valeur du SNR était d'environ -9 dB et dont la partie visuelle consistait en la présentation des mouvements naturels des lèvres. Les résultats ont montré que l'intelligibilité en condition audio-visuelle était significativement plus élevée qu'en condition audio. L'intelligibilité en condition visuelle était très faible et en condition audio-visuelle, seule avait subsisté la distinction entre la présence et l'absence d'une plosive voisée [dy du gy gu] versus [ty tu ky ku]. Ils expliquent ces résultats par la détection par l'auditeur de l'amorce du mouvement d'arrondissement des lèvres environ 100 ms avant la barre acoustique de pré-voisement présente lors de la production subséquente d'une occlusive sonore, et 240 ms avant le noyau de la voyelle, tel qu'illustré à la figure 1.10. Cette amorce fournirait alors un indice temporel permettant d'améliorer la détection d'indices acoustiques à venir, et particulièrement la barre

de pré-voisement indiquant la présence ou l'absence d'une plosive voisée : « (...) this provides a temporal cue likely to improve the detection of upcoming acoustic cues, and particularly the prevoicing bar indicating the presence or absence of a voiced plosive (...)» (Schwartz, Berthommier et Savariaux, 2004 : B72).

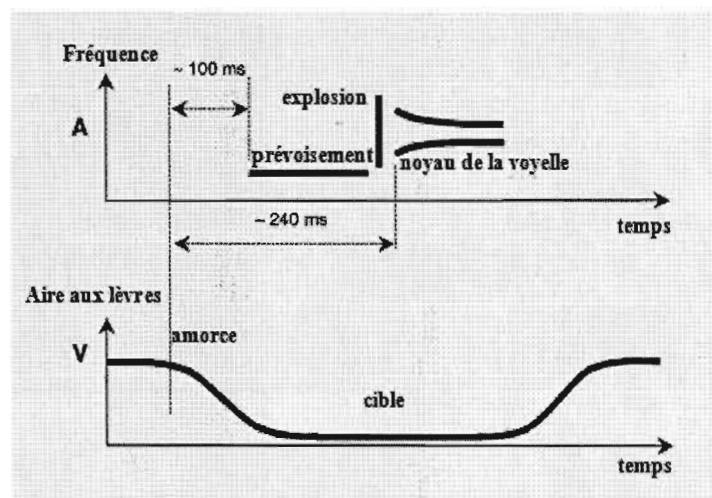


Figure 1.10 Structure acoustique d'une syllabe plosive-voyelle et du geste labial correspondant. (Adaptée de Schwartz, Berthommier et Savariaux, 2004: B73.)

Afin de confirmer que le gain en intelligibilité obtenu dans leur première expérience avec des enregistrements acoustiques et des mouvements labiaux naturels ne pouvait être attribuable à la lecture labiale, ils ont conduit une seconde expérience auprès de 12 autres sujets francophones dont la partie visuelle des stimuli audio-visuels était toujours le même mouvement labial, typique d'une séquence occlusive-voyelle arrondie. Les résultats obtenus sont similaires à ceux de la première expérience dans la mesure où, pour les séquences [dy du gy gu] et [ty tu ky ku], les performances en condition audio-visuelle sont significativement plus élevées qu'en condition audio seule, ce qui prouve que le gain dû à l'information visuelle n'est pas basé sur la lecture labiale comme telle, mais à l'augmentation de la sensibilité aux indices de voisement donnés par les indices temporels du début du geste labial.



### 1.2.2 Effet McGurk

L'effet McGurk a contribué à fournir des preuves du caractère bimodal de la parole. En effet, si sa première manifestation est survenue de façon « accidentelle » (McGurk et MacDonald, 1976), plusieurs études ont été menées dans la foulée et nous savons aujourd'hui que ce phénomène d'illusion audio-visuelle survient suite à l'appariement audio-visuel de signaux acoustiques et de mouvements labiaux de voyelles ou de consonnes différentes. Il consiste en l'intégration des informations en provenance des modalités visuelle et auditive, donnant lieu à un percept dont la catégorie phonétique n'est pas exactement celle de la partie audio.

De nombreuses études (McGurk et MacDonald, 1976; MacDonald et McGurk, 1978; Massaro, 1984) ont utilisé différents appariements de consonnes visuelles et auditives pour démontrer l'existence de l'effet McGurk et pour étudier la forme revêtue par les percepts en résultant. Sa manifestation la plus connue survient lors de la présentation d'une séquence audio-visuelle dont la partie audio est le signal acoustique [ba] et dont la partie visuelle est l'articulation de [ga], donnant lieu à la perception de la syllabe [da]. Ce percept consiste en une « fusion » audio-visuelle, puisque la consonne perçue n'est ni issue directement de la partie audio, ni directement de la partie visuelle, mais plutôt d'une intégration des informations en provenance des deux modalités. L'appariement du signal acoustique [da] aux mouvements labiaux de [ba] donne souvent lieu à la perception d'une syllabe [bda], qui consiste en une « combinaison » perceptuelle des informations fournies par les deux modalités. Finalement, lorsque le montage d'une syllabe audio [ba] à un signal visuel [va] donne lieu à la perception de la syllabe [va], un tel percept est qualifié de « visuel » puisque le percept fourni possède toutes les caractéristiques de la catégorie phonétique de la partie visuelle du stimulus. Le tableau 1.8 fournit des exemples d'appariement de syllabes à initiale consonantique donnant lieu à des illusions audio-visuelles de type McGurk.

Tableau 1.8  
Exemples de stimuli consonantiques suscitant l'effet McGurk

Stimuli		Percepts	Types de percepts
Partie audio	Partie visuelle		
[ba]	[ga]	[da]	fusion
[da]	[ba]	[bda]	combinaison
[ba]	[va]	[va]	visuel

Il est toutefois à noter que ces percepts évocateurs de l'utilisation de l'information visuelle lors de la perception d'un stimulus audio-visuel conflictuel ne sont pas présents chez tous les locuteurs; l'âge des locuteurs semble être un facteur important et beaucoup de variabilité existe également à cet égard dans des groupes de sujets adultes, ce qui laisse en suspens la question de la variabilité associée au traitement de l'information visuelle chez les adultes.

Notre intérêt portant plus précisément sur la perception et la production des voyelles, il est intéressant de rapporter les résultats obtenus par Öhrström et Traunmüller (2004) sur l'intégration audio-visuelle ayant cours lors de la perception des voyelles du suédois, une langue pour laquelle l'arrondissement est un trait distinctif des voyelles, tel que c'est le cas en français. Pour ce faire, les auteurs ont procédé à des enregistrements audio-visuels de 2 hommes et de 2 femmes prononçant les logatomes [g i: g], [g y: g], [g e: g] et [g ø: g], à partir desquels ils ont effectué du montage vidéo de façon à obtenir toutes les combinaisons audio-visuelles possibles à partir de ces 4 voyelles. 16 auditeurs ont été soumis à un test de perception selon une condition visuelle, une condition audio et une condition audio-visuelle. Les percepts obtenus auprès de 11 d'entre eux dénotent un effet analogue à l'effet McGurk lors de la perception de ces 4 voyelles s'opposant sur la base des traits d'arrondissement et d'aperture et sont rapportés au tableau 1.9.

Globalement, bien que l'aperture et l'arrondissement soient deux traits articulatoires visibles, le poids perceptuel visuel accordé à l'aperture était presque nul alors que les indices visuels reliés à l'arrondissement ont souvent prépondéré sur les indices auditifs. Ainsi, des percepts « visuels » ont résulté de l'appariement de voyelles de même aperture, mais s'opposant sur la base du trait d'arrondissement. Des percepts « fusion », mariant les informations fournies par les deux modalités, ont quant à eux résulté de l'appariement de voyelles s'opposant sur la base des traits d'aperture et d'arrondissement. Des percepts « combinaisons » n'ont pas été observés formellement dans le cadre de cette étude, bien que certains participants aient mentionné avoir perçu des diphtongues inhabituelles.

Tableau 1.9  
Appariements de voyelles donnant lieu à un effet McGurk vocalique (À partir des résultats obtenus par Öhrström et Traunmüller, 2004.)

Stimulus auditif	Stimulus visuel	Percept	Type de percept
[i]	[y]	[y]	visuel
[y]	[i]	[i]	visuel
[e]	[ø]	[ø]	visuel
[ø]	[e]	[ɛ]	fusion
[i]	[ø]	[y]	fusion
[y]	[e]	[i]	fusion
[e]	[y]	[i]	fusion
[e]	[y]	[ø]	fusion

### 1.2.3 Lecture labiale et visèmes

Tel que le mentionnent Schomaker et al. (1995), la lecture labiale représente la plus grande expertise de synthèse de l'humain en conversion de l'input visuel en des unités significatives. Elle origine de la constitution d'une base de données individuelle de connaissances et d'habiletés enrichie par l'entraînement et elle rend possible l'association de sons virtuels à des configurations buccales particulières qui permettent au labio-lecteur d'en inférer le message acoustique sous-jacent. L'attention du labio-lecteur est concentrée sur la bouche et les composantes avoisinantes, soit les lèvres, les dents et la langue; l'expression faciale entière contribue à la compréhension.

#### 1.2.3.1 Visèmes consonantiques

Même si les voyelles constituent notre objet d'étude, il convient d'abord de nous intéresser à la perception visuelle des consonnes, puisque c'est à partir de celles-ci qu'ont été menées les premières études sur la perception visuelle de la parole et qu'a été définie la notion même de visème.

Woodward et Barber (1960) se sont intéressés au lien existant entre les gestes articulatoires effectués par un locuteur et leur interprétation phonémique par son interlocuteur. Le terme visème provient de l'expression «(...) *visual phoneme* [which] has been shortened to *viseme*, and will be used to refer to any individual and contrastive visually perceived unit» (Fisher, 1968: 800). Bien que ce terme n'ait été proposé qu'en 1968,

l'objectif de Woodward et Barber (1960) de retrouver l'unité sous-jacente à la perception de stimuli audio-visuels rejoignait déjà cette notion. Pour ce faire, ils ont procédé à un test de perception auprès de 305 sujets au cours duquel ces derniers devaient déterminer si les stimuli qui composaient les paires présentées (en condition visuelle, audio et audio-visuelle à une portion d'entre eux) étaient semblables ou différents. Les stimuli consistaient en 229 séquences de types  $C_1V-C_2V$  et  $C_1V-C_1V$ , où [a] et [ɔ] étaient les voyelles possibles et où C était l'une des consonnes de l'anglais ([p b m f v t d n θ ð s z l ɹ ʒ ʒ tʃ dʒ j k g ŋ w h]). Les réponses des sujets ont permis aux auteurs de proposer une hiérarchie des contrastes visuels qui donnent lieu à une interprétation phonémique. Ils ont trouvé que seul le lieu d'articulation labial n'était pas neutralisé lors de la perception visuelle de la parole, alors que les autres différences articulatoires telles le type d'articulation, le type de résonance, la voix, l'affrication, la palatalisation et les autres lieux d'articulation l'étaient. Ils ont donc pu établir 4 classes de consonnes initiales pouvant être différenciées visuellement soit :

- les bilabiales : [p b m]
- les labiales arrondies : [w ɹ l]
- les labiodentales : [f v]
- les non labiales: [t d n θ ð s z ʃ ʒ tʃ dʒ j k g ŋ h]

Jutras et al. (1998) sont, à notre connaissance, les seuls chercheurs à s'être penchés sur les habiletés d'identification des consonnes visuelles du français québécois dans une optique orthophonique. Ils ont présenté à leurs 52 participants francophones âgés entre 18 et 30 ans des stimuli audio-visuels de 2 locutrices produisant des séquences [aCa] où C était l'une des consonnes du français québécois [p b m f v ʃ ʒ t d n l s z k g ŋ r] et ils leur ont demandé d'identifier les consonnes perçues. En établissant des matrices de confusion pour chaque locutrice et en définissant le critère de composition des catégories consonantiques à 75% de bonnes réponses, les chercheurs ont établi respectivement 6 et 7 visèmes pour chacune des locutrices, la composition des visèmes étant légèrement variable d'une locutrice à l'autre :

- [p b m]
- [f v]
- [ʃ ʒ]
- [l]
- [s z]

- [t d n k g ɲ r] pour la locutrice 1
- [t d n k g ɲ] pour la locutrice 2
- [r] pour la locutrice 2

Cette étude a donc permis de démontrer qu'en français québécois, le trait d'antériorité des consonnes était un critère important dans la reconnaissance visuelle et que l'intelligibilité visuelle était tributaire du locuteur. Cette conclusion vient donc confirmer les travaux menés en anglais par Summerfield (1987), qui avait établi auprès de malentendants la matrice de confusion visuelle des consonnes présentée à la figure 1.11 et qui concorde avec cette idée de gain visuel apporté par un lieu d'articulation consonantique antérieur.

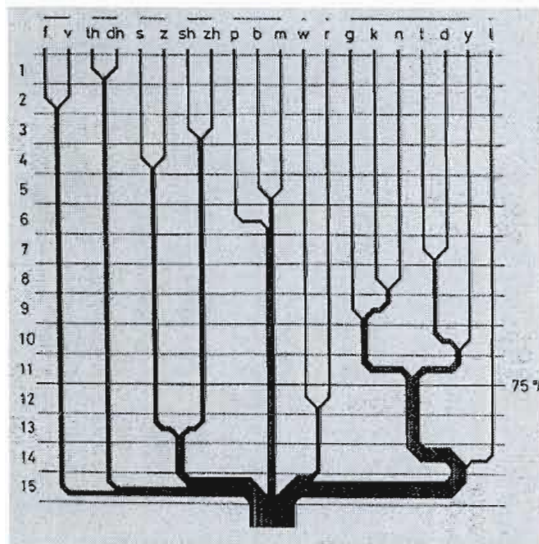


Figure 1.11 Matrice de confusion visuelle des consonnes de l'anglais établie pour illustrer la perception des malentendants. (Tirée de Summerfield, 1987 : 15.)

#### 1.2.4.2 Visèmes vocaliques

La notion de visème vocalique correspond à une extension du concept de visème établi à partir de l'étude de la perception visuelle des consonnes. En effet, le regroupement des voyelles sur la base de leurs caractéristiques visuelles ne s'effectue pas aussi facilement que celui des consonnes, les différences visuelles entre les catégories de voyelles s'étendant davantage sur un continuum (pour une revue de la littérature, voir Cathiard, 1994).

Si c'est le critère d'antéro-postériorité qui semble guider la formation des visèmes consonantiques, Montgomery et Jackson (1983) ont démontré que pour les voyelles, c'était davantage le critère d'arrondissement qui modifiait les confusions visuelles entre les voyelles.

## CHAPITRE II

### LES RELATIONS ENTRE PRODUCTION ET PERCEPTION DE LA PAROLE : CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES ET EXPÉRIMENTALES

Le chapitre précédent a su offrir des descriptions des deux versants de la parole, à savoir celui de sa production et celui de sa perception. Nous proposons maintenant une brève revue de quelques théories de la perception puisqu'elles rendent compte de différentes manières des mécanismes perceptifs. De plus, elles constituent les assises sur lesquelles s'appuient les travaux présentés dans la deuxième section, qui eux, explorent de manière expérimentale les liens entre les stratégies de production des locuteurs et les caractéristiques de leur analyse perceptuelle.

L'étude des relations en perception et production de la parole dans le cadre de ce mémoire soulève des questions très intéressantes quant au rôle de la vision, non seulement dans la réalisation de chacun des mécanismes (production et perception), mais également dans l'établissement de relations entre eux.

#### 2.1 Les théories de la perception

Les théories de la perception que nous présentons ici caractérisent principalement les 3 approches distinguées par Schwartz (2001) relatives à la présence et à la nature de l'invariance : les théories auditives, les théories motrices et les théories de l'interaction auditeur-locuteur. Si ces théories sont dites théories « de la perception », elles ne rendent pas compte que de la perception de la parole, mais aussi de la nature et de l'importance des relations que cette dernière entretient avec la production de la parole, d'où la pertinence de les présenter dans ce chapitre. L'exploration des liens entre production et perception engendrée par les théories de la perception justifie l'inclusion à ce chapitre de la description du modèle DIVA (« Directions Into Velocities of Articulators »), qui procède de la manière



inverse, en modélisant les processus de production de la parole à partir des processus connus de perception de la parole.

### 2.1.1 La théorie auditive de Stevens

La théorie quantique de Stevens (1989) fait partie des théories auditives de la perception dans la mesure où les processus de traitement de la parole qu'elle sous-tend impliquent d'abord et avant tout le système auditif et que l'invariance y est située au niveau du signal acoustique. À la différence d'autres théories auditives, même si elle s'intéresse davantage aux faits acoustiques, la théorie quantique de Stevens (1989) rend compte du lien entre articulation et acoustique en stipulant que l'espace multidimensionnel qui unit les articulations des voyelles orales à l'output acoustique dénote des caractéristiques quantiques. Cela se traduirait par des régions de changements abrupts et des régions de stabilité dans l'internalisation des articulations et des caractéristiques acoustiques (par exemple, dans F2). Certaines tendances translinguistiques dans l'inventaire des voyelles pourraient alors être prédites à partir de cette non linéarité; /i/, /a/ et /u/, qui sont parmi les voyelles les plus fréquentes dans l'inventaire vocalique des langues du monde, présentent par exemple une stabilité acoustique certaine.

Dans sa réponse à un article publié par Lindblom (1996) et dont nous verrons les affiliations théoriques un peu plus tard, Stevens (1996) précise sa position quant à la forme que revêtent le lexique mental et les processus de transformation du signal permettant l'interaction entre les connaissances lexicales et celles des contraintes linguistiques. Selon lui, le lexique inclut au moins 2 types d'informations: l'un guidant l'individu en qualité d'auditeur en lui permettant un accès lexical à partir de l'acoustique, et l'autre le guidant en qualité de locuteur en lui fournissant des indices sur la manipulation de ses articulateurs pour parvenir à la réalisation de séquences de mots. La proximité de ces connaissances à l'intérieur du lexique mental rendrait alors compte du caractère immédiat de l'accès du locuteur à l'articulation au moment de l'identification de l'item lexical sur la base de l'input acoustique (au moment de la perception).



## 2.1.2 La théorie motrice

### 2.1.2.1 Liberman et Mattingly (1985)

Nous nous intéressons à la version révisée de la théorie motrice de Liberman et Mattingly (1985). Selon eux, le siège de l'information phonétique se trouverait à l'intérieur d'un module issu d'un système biologique distinct au sein du système de la perception de la parole. Ce module serait spécialisé dans la détection de la prévision des gestes articulatoires du locuteur, ces derniers étant à la base des catégories phonétiques.

Cette théorie motrice a notamment vu le jour dans le cadre des expériences effectuées sur l'effet duplex. Cet effet a été simulé grâce à la synthèse d'un continuum de stimuli allant de [da] à [ga], où seule la trajectoire de F3 était modifiée (montante pour [ga] et descendante pour [da]). Un test de perception au cours duquel des sujets devaient écouter ces stimuli de façon binaurale a révélé que les stimuli situés aux extrêmes du continuum étaient clairement distingués, alors que ceux du centre étaient ambigus. L'écoute séparée de la transition de F3 a quant à elle donné lieu à la perception d'un pépiement et celle de la partie vocalique stable avec les transitions des deux premiers formants a été perçue comme une syllabe ambiguë. Le paradigme d'écoute dichotique de ces deux parties consistait en la présentation de la transition de F3 présentée dans une oreille et de celle de la partie stable avec les transitions des deux premiers formants dans l'autre oreille). Il a conduit à la perception d'un pépiement dans l'oreille dans laquelle les transitions de F3 étaient présentées et à la perception d'une syllabe ambiguë dans l'autre, démontrant alors la nécessité de l'intégration des deux parties du stimulus pour l'assignation d'une catégorie phonétique lors de la perception.

Liberman et Mattingly (1985) ont donc postulé la présence d'un module spécifique à la perception de la parole qui serait à l'origine du traitement de l'information des unités élémentaires aux unités plus complexes. Dans cette perspective, les auteurs proposent que si la perception et la production de la parole partagent le même inventaire d'invariants, c'est qu'ils doivent entretenir un lien étroit, spécifique, même inné, et définitivement différent de celui du mode auditif.

### 2.1.2.2 Le réalisme direct de Fowler (1996)

Selon Fowler (1996), la théorie de la perception directe se distingue de la théorie motrice en ce sens qu'elle ne stipule pas la perception des gestes articulatoires intentionnés par le locuteur, mais plutôt la perception des gestes réellement produits par ce dernier. L'invariance y est alors située au niveau des gestes du conduit vocal et ces gestes constituent les composantes phonologiques de la production. Les gestes du conduit vocal seraient à la base de la structuration des signaux acoustiques de la parole et en constitueraient les actions publiques. Ces gestes donneraient lieu à des « spécifieurs », d'où le positionnement de l'invariance dans le signal acoustique et l'accès direct à la perception des propriétés phonologiques.

La tendance universelle des systèmes perceptuels à fonctionner sans le biais d'aucune forme de médiation expliquerait la perception des gestes du conduit vocal dans le cadre de la perception de la parole. C'est en ce sens que la théorie de la perception directe postule l'hétéromorphie de la perception par rapport à la structure des médias, mais l'homomorphie des événements du monde réel responsables de cette structure.

### 2.1.3 Les théories de l'interaction locuteur-auditeur

#### 2.1.3.1 La théorie de la variabilité adaptative de Lindblom (1996)

Certaines théories de la perception de la parole ne font pas appel à la notion d'invariance, mais renvoient plutôt aux exigences des interactions entre locuteurs et auditeurs. Ainsi, selon la théorie de la variabilité adaptative de Lindblom (1996), ce sont l'auditeur et la situation de parole qui définissent la tâche du locuteur. Cette tâche manifestant de la variabilité, le locuteur doit s'y adapter afin de conférer au signal acoustique un pouvoir suffisamment discriminatoire. Pour l'auteur, les percepts ne sont pas issus d'un traitement du signal acoustique brut, mais plutôt de la combinaison des produits du signal acoustique et des connaissances du locuteur. Si nous voulons intégrer le concept d'invariance à cette théorie, nous ne pouvons donc le situer qu'au niveau du but du locuteur, en rappelant cependant que ce but n'est atteint que par des moyens variables (signal acoustique et articulation).

Le pouvoir discriminatoire du signal acoustique mentionné précédemment se rapporte à la notion d'intelligibilité. Cette dernière ne repose pas que sur la qualité et le contenu du

signal acoustique, mais également sur les connaissances phonétiques, lexicales et grammaticales préalables de l'auditeur. Par conséquent, l'importance du recours à l'information issue du signal acoustique fluctue d'une production à l'autre et d'un auditeur à l'autre. Une situation optimale d'interaction locuteur-auditeur serait donc celle où le locuteur parviendrait à une juste estimation des besoins d'information explicite de son auditeur et en l'adaptation de sa production en fonction de ces besoins. Cette négociation d'information amène un continuum de formes de parole « hyper » et « hypo ». Plus le niveau de performance augmente de « hypo » à « hyper », plus la durée et l'amplitude des gestes articulatoires augmentent, alors que leur recoupement temporel tend à diminuer. Par exemple, la coarticulation et la réduction sont des phénomènes typiques de l'« hypoparole ». Ainsi, les voyelles et les consonnes de l'« hyperparole » sont plus près de leur valeur cible que celles de l'« hypoparole ». Le rôle de l'articulation et des événements acoustico-auditifs est de faciliter cet accès en fournissant l'information nécessaire (mais partielle) pour permettre la discrimination. Ultiment, c'est à la forme auditive que s'applique la condition de discriminabilité.

#### 2.1.3.2 La théorie de la perception pour le contrôle de l'action de Schwartz et al. (2002)

La théorie de la perception pour le contrôle de l'action (notée PACT, de l'anglais « theory-for-action-control theory ») proposée par Schwartz et al. (2001), tel que son nom le suggère, préconise l'idée selon laquelle la perception est fonction de l'action. Cette théorie définit les représentations perceptives comme des processus perceptifs multimodaux (auditifs, visuels, somesthésiques) à partir desquels l'auditeur a accès aux cibles et aux phases des gestes vocaux, en tenant compte des contraintes. L'auditeur peut alors suivre et comprendre les actions perçues et spécifier les siennes. Le traitement de l'input auditif et les limites articulatoires définies tout au long de ces échanges entre locuteurs et auditeurs lui permettent d'internaliser des représentations sensorimotrices, c'est-à-dire de définir des cibles et le timing des gestes articulatoires associés.

Puisque le traitement auditif n'est pas complet en lui-même, le contrôle articulatoire pallie cette caractérisation partielle en structurant ces représentations et d'autres modalités, telle la vision, permettent également de récupérer et de mettre en forme les gestes de parole. « Donc, on en arrive à un format de représentations qui est bien intrinsèquement sensori-

moteur, représentations pour spécifier et récupérer des contrôles : représentations qui ne sont ni purs produits sensoriels, ni purs objets moteurs inférés, mais des percepts multimodaux régularisés par l'action, ou des gestes remis en forme par la perception multimodale.» (Schwartz, 2001 : 267).

#### 2.1.4 Implémentation du modèle de Perkell et al. (2000) dans le modèle DIVA

Le modèle DIVA (« Directions Into Velocities of Articulators »), formulé par Guenther et Ghosh (2003), modélise la théorie de Perkell et al. (2000). Ce modèle se trouve en périphérie des théories de la perception puisqu'il concerne davantage l'acquisition et les mécanismes de production de la parole. Nous avons décidé de l'inclure à cette section puisqu'il fait appel à des considérations reliant les mécanismes de perception et de production de la parole et à la théorie de la variabilité adaptative. Ainsi, ce modèle suppose que la planification des mouvements articulatoires effectuée dans le but d'atteindre des cibles phonémiques est influencée par le besoin de clarté du locuteur, la clarté étant définie comme le caractère distinct des régions-cibles acoustiques et étant déterminée par la taille et la localisation de ces régions dans l'espace acoustique. Une compétition s'installe chez le locuteur entre son désir que ses productions atteignent un pouvoir discriminatoire suffisant et sa motivation à faire preuve d'économie d'efforts. La formation d'une région-cible chez un locuteur s'effectue par son apprentissage de tous les exemples de sons permis.

Le modèle DIVA pose alors le postulat suivant : la plus grande sensibilité perceptuelle de certains locuteurs à de petites différences acoustiques entraînerait chez eux la formation de régions-cibles de production de plus petite taille que chez les locuteurs dont la perception est moins précise. En effet, lors de l'apprentissage des régions-cibles, les locuteurs présentant une plus grande précision de la perception seraient plus susceptibles de rejeter des items mal produits et de ne pas les inclure dans leurs régions-cibles. Des résultats expérimentaux présentés par Perkell et al. (2004) confirment la validité de cette hypothèse concernant les liens production-perception.

### 2.1.5 Synthèse des théories présentées

Les 6 modèles que nous venons de présenter, très brièvement résumés au tableau 2.1, bien qu'ils se distinguent par leur identification des objets invariants ou même par leur acceptation de l'existence de tels objets, se rejoignent tous dans le fait qu'ils supposent la présence de mécanismes d'interaction entre production et perception de la parole.

Tableau 2.1  
Synthèse des théories et modèles de la perception et de la production

<b>Théories/Modèles</b>	<b>Instigateurs</b>	<b>Invariance/Principes</b>
Quantique	Stevens	Signal acoustique
Motrice	Lieberman et Mattingly (1985)	Module de perception motrice; perception des gestes articulatoires intentionnés
Réalisme direct	Fowler (1996)	Perception des gestes articulatoires effectivement produits.
Variabilité adaptative	Lindblom (1996)	But du locuteur
Perception pour le contrôle de l'action (PACT)	Schwartz et al. (2001)	Processus perceptifs multimodaux définissent les cibles et le timing des gestes vocaux; représentations perceptives basées sur les contraintes articulatoires
Perkell et al. (2000) implémenté dans le modèle (DIVA)	Perkell et al. (2000) Guenther et Ghosh (2003)	Sensibilité perceptuelle entraîne la formation de régions cibles de tailles et de distances reliées aux représentations perceptives

Nous en retenons notamment les définitions de l'invariance et les notions de stabilité, de gestes articulatoires, d'intelligibilité, d'adaptation, de discriminabilité et de régions-cibles, qui nous seront utiles dans le raisonnement proposé au cours de notre analyse expérimentale. Elles constituent également les piliers des études expérimentales présentées à la prochaine section.

## 2.2 Les études expérimentales

Nous présentons ici quelques études expérimentales dont les buts se rejoignent tous quant à la recherche de preuves directes de la présence de mécanismes communs entre la perception et la production de la parole. Certaines d'entre elles concluent qu'il n'y a pas de lien entre production et perception, mais la plupart d'entre elles font état d'une corrélation entre ces

deux versants. Mais l'intérêt de présenter ces études réside surtout dans l'inspiration que peut fournir l'examen des différentes méthodes d'investigation utilisées et des objets de parole étudiés.

## 2.2.1 Les auditeurs n'ont pas recours à leur propre articulation en situation de perception

### 2.2.1.1 Les voyelles comme objet d'étude

Paliwal, Lindsay et Ainsworth (1983) ont cherché à apporter des preuves directes en faveur du postulat principal de la théorie motrice selon lequel l'auditeur référerait à sa propre articulation lors de la perception de la parole. Pour tester l'isomorphie entre la production et la perception de la parole, les auteurs ont procédé à des enregistrements acoustiques auprès de 10 adultes locuteurs de l'anglais britannique de répétitions de séquences [hVd], où V était l'une des voyelles [ɜ ʌ u ʊ o ɔ a æ ɛ ɪ i], et ils en ont extrait les valeurs formantiques. Ces participants ont par la suite été soumis à une tâche d'identification des mêmes 11 voyelles synthétisées. Après s'être assurés que les deux premiers formants des voyelles produites par les sujets étaient représentatifs des catégories vocaliques visées, que les valeurs des deux premiers formants étaient significativement différentes entre les sujets et qu'elles étaient cohérentes d'une répétition à l'autre, Paliwal, Lindsay et Ainsworth (1983) ont procédé à des analyses statistiques des corrélations intra-sujets et inter-sujets à l'aide de la formule ci-dessous. Une corrélation intra-sujets significativement plus grande qu'une corrélation inter-sujets aurait dénoté l'isomorphie entre la production et la perception des valeurs formantiques des voyelles à l'étude.

Soit  $F_{pr}(i, j, k)$  les fréquences produites du  $k^e$  formant pour le  $i^e$  sujet et la  $j^e$  voyelle.

Soit  $F_{pe}(i, j, k)$  les fréquences perçues du  $k^e$  formant pour le  $i^e$  sujet et la  $j^e$  voyelle.

$$C(j, k) = \frac{\sum_{i=1}^{10} F_{pr}(m(i), j, k) F_{pe}(n(i), j, k)}{\left[ \sum_{i=1}^{10} F_{pr}(i, j, k) \right] \left[ \sum_{i=1}^{10} F_{pe}(i, j, k) \right]}$$

Or, en premier lieu, les auteurs ont trouvé que globalement, les corrélations intra-sujets et inter-sujets n'étaient pas significativement différentes lorsque les mesures formantiques étaient faites en Hertz. Ils ont alors décidé de refaire les mêmes analyses en

convertissant les mesures formantiques en Bark et en mels, mais ces transformations n'ont pas permis d'observer une différence significative entre les corrélations intra-sujets et inter-sujets. Par conséquent, ils ont dû rejeter l'hypothèse selon laquelle les auditeurs se servaient de leur propre articulation pour percevoir les voyelles.

#### 2.2.1.2 Les glides comme objet d'étude

Ainsworth et Paliwal (1984) ont repris exactement le même protocole expérimental que Paliwal, Lindsay et Ainsworth (1983), mais en investiguant cette fois la corrélation entre la production et la perception des glides [w r l j] de l'anglais. Les auteurs ont justifié ce changement dans l'objet de parole étudié sur la base d'études antérieures ayant démontré que les mécanismes de perception des voyelles étaient différents des mécanismes de perception des consonnes. Si aucune isomorphie n'a pu être trouvée entre la production et la perception des voyelles, ils postulaient qu'il serait possible d'en observer au sein des glides.

Ils ont donc effectué des enregistrements acoustiques de répétitions de séquences [Cε] auprès de 10 locuteurs adultes de l'anglais britannique, où C était les glides [w r l j]. Ils ont extrait les valeurs des deuxième et troisième loci formantiques des glides, puisque ce sont ces paramètres qui permettent de distinguer les glides les uns des autres. Les sujets ont également été soumis à un test de perception au cours duquel ils devaient identifier des glides synthétisés dont les valeurs des loci variaient dans le plan F2-F3. Après s'être assurés que les productions des sujets variaient significativement les uns des autres, ils ont calculé les corrélations intra-sujets et inter-sujets entre les loci formantiques produits et perçus. En aucun cas, la différence entre la corrélation intra-sujets n'a été différente de la corrélation inter-sujets, que les corrélations soient effectuées en Hertz, en Bark ou en mels. Par conséquent, les auteurs ont à nouveau conclu qu'il n'y avait pas d'isomorphisme entre la production et la perception des fréquences formantiques des loci des glides.

Si les expériences menées par Paliwal, Lindsay et Ainsworth (1983) et Ainsworth et Paliwal (1984) ont toutes deux mené à la réfutation de l'hypothèse selon laquelle les auditeurs réfèreraient à leur propre articulation lorsqu'ils perçoivent les voyelles orales et les glides de l'anglais britannique, jamais cette conclusion n'est vraiment discutée et le paradigme expérimental identique d'une expérience à l'autre n'est pas remis en doute.

## 2.2.2 Il existe un lien entre les stratégies de production et les différences perceptuelles

### 2.2.2.1 Les voyelles comme objet d'étude

Le travail de Bell-Berti et al. (1979) s'inscrit dans la lignée des travaux ayant porté sur l'adaptation perceptuo-motrice, qui suggère que des différences dans les stratégies de production d'une certaine classe de sons par des populations données seraient isomorphiques aux différences de comportements perceptuels de ces mêmes populations. Dans une étude antérieure (Raphael et Bell-Berti; 1975), la présence de deux stratégies articulatoires de production des contrastes d'aperture [i ɪ e ε æ] de l'anglais avait été démontrée; ces stratégies consistaient soit en l'activation du génioglosse et en la variation de la hauteur de la langue, soit en la variation d'autres paramètres articulatoires faisant progressivement diminuer l'activité du génioglosse et la hauteur de la langue le long de cette série vocalique. Bell-Berti et al. (1979) ont donc fait l'hypothèse que des stratégies articulatoires alternatives trouvées entre des groupes de locuteurs se réfléchiraient en des stratégies perceptuelles alternatives parmi ces mêmes groupes de sujets.

Ils ont donc effectué la collecte de données d'électromyographie (EMG) de l'activité du génioglosse de 10 locuteurs de l'anglais lors de la production de séquences [əpVp], où V était l'une des voyelles [i ɪ e ε æ]. Deux patrons articulatoires sont ressortis de cette collecte de données EMG : l'un donnant lieu à la diminution de l'activité musculaire, tel qu'attendu par la description articulatoire de la hauteur des voyelles avant et l'autre montrant qu'il y avait un degré égal ou plus grand d'activité musculaire pour les voyelles tendues [i e], et beaucoup moins d'activité pour les voyelles relâchées [ɪ ε]. Afin d'investiguer la question à savoir si les locuteurs qui présentaient des mécanismes de production de voyelles différents démontraient aussi des différences dans les stratégies de perception, ils ont soumis les 10 sujets testés en production, de même que 137 auditeurs supplémentaires à un test de perception. Les auditeurs devaient identifier des voyelles faisant partie d'un continuum de 7 stimuli synthétisés allant de [i] à [ɪ] et dont les valeurs de F1, F2 et F3 étaient variables. Dans un premier temps, les sujets ont été soumis à une condition contrôle impliquant la présentation de 10 répétitions de chaque stimulus. Dans un deuxième temps, ils ont été



soumis à une condition d'ancrage impliquant la présentation de 40 répétitions du stimulus 1 ([i]) et de 10 répétitions de 6 autres stimuli.

Parmi les 10 sujets dont les auteurs avaient enregistré l'activité musculaire du génioGLOSSe, 4 d'entre eux présentaient le premier patron articulatoire présenté ci haut. De plus, ces 4 sujets ont démontré des effets d'ancrage relativement grands, tel que mesuré par l'importance du décalage du locus de la frontière phonémique. Les 6 autres sujets présentaient le second patron articulatoire, de même que de relativement petits effets d'ancrage. Les auteurs ont conclu que les différentes stratégies articulatoires observées étaient le reflet de différences au niveau perceptif se manifestant dans leur sensibilité à une condition d'ancrage.

L'étude de Fox (1982) visait quant à elle à déterminer si des variations significatives dans la perception des voyelles étaient observables au niveau individuel et si c'était le cas, jusqu'à quel point ces différences au niveau perceptif pouvaient être prédites sur la base de différences entre leurs productions. Pour ce faire, il a proposé à 16 auditeurs des comparaisons dyadiques de 9 voyelles orales de l'anglais américain ([i ɪ ɛ æ a ʌ ʊ u]) prononcées dans le contexte [hVd] par 6 locuteurs. Les auditeurs devaient juger la similarité des stimuli présentés sur une échelle de 9. L'auteur a effectué l'analyse acoustique de 20 répétitions de chaque voyelle effectuées par chacun des locuteurs, de même que celle de productions des mêmes 8 voyelles par les auditeurs.

Des analyses statistiques ont révélé des différences constantes dans la structure de la perception par les auditeurs relativement à leur jugement de la similarité des voyelles produites par les différents locuteurs. De plus, une forte correspondance a été observée au niveau des différences perceptuelles et articulatoires (telles que quantifiées par plusieurs mesures acoustiques); les mesures acoustiques des voyelles cardinales des auditeurs ont constitué de meilleures bases de prédiction de la saillance des locuteurs que celles des autres voyelles et les meilleurs prédicteurs de cette saillance relativement à une dimension perceptuelle particulière étaient souvent reliés à l'interprétation de cette dimension. À l'issue de la présentation des données statistiques ayant donné lieu à ces conclusions préliminaires, Fox (1982) propose d'attribuer cette correspondance à la référence du système perceptuel

pour chacune des voyelles à un prototype internalisé identique au prototype de la cible acoustico-articulatoire à atteindre en production de la parole.

Les travaux menés par Perkell et al. (2003, 2004) peuvent être vus comme le prolongement de ces études. Les auteurs ont cherché à trouver des corrélations entre des mesures de production et de perception de la parole recueillies parmi différents locuteurs. Pour ce faire, ils ont procédé à des enregistrements acoustiques et d'EMA de répétitions des phrases « Say (cod, cud, who'd, hood) hid it » en conditions normale et rapide avec 19 adultes locuteurs natifs de l'anglais américain. Ils ont ensuite extrait les valeurs formantiques et les positions des marqueurs EMA. La figure 2.1 montre le type de représentation graphique de la position des senseurs.

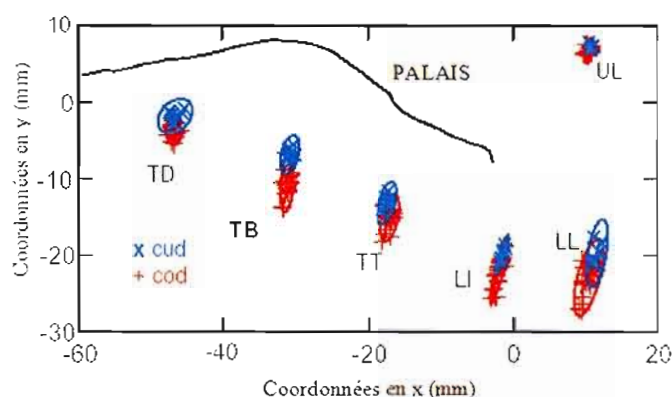


Figure 2.1 Positions des senseurs d'EMA. TD : dos de la langue; TB : corps de la langue; TT : apex, LI : incisives inférieures, LL : incisives supérieures, UL : lèvre supérieure. (Adaptée de Perkell et al. 2003 : 2)

Ces mêmes sujets ont été soumis à un test de perception ABX au cours duquel ils devaient identifier les voyelles issues de continuum de stimuli synthétisés de [kad] à [kʌd] et de [hUd] à [hud]. Les auteurs ont utilisé le plafonnement à 100% des résultats de certains sujets dans la tâche ABX pour les classer dans la catégorie « bons discriminateurs » (HI) et les performances moins élevées des autres sujets pour définir la catégorie « mauvais discriminateurs » (LO). Ce regroupement a servi de bases à la mise en relation des mesures de perception (test ABX) et d'articulation (mesures des positions des senseurs EMA). La figure 2.2 en est une représentation graphique.

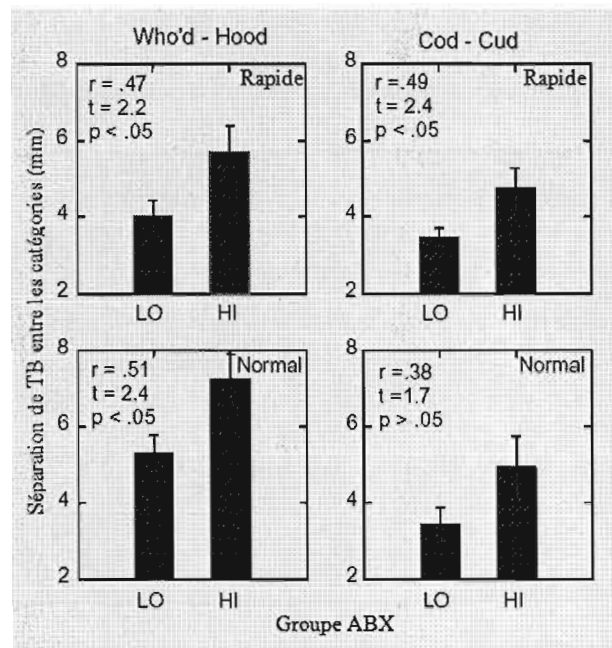


Figure 2.2 Séparation entre le corps de la langue (TB) lors de la production des deux catégories vocaliques pour les « bons discriminateurs » (HI) et les « mauvais discriminateurs » (LO) et les valeurs de corrélation bisérielle qui leur sont associées. (Adaptée de Perkell et al., 2003a.)

Cette analyse a révélé que plus un locuteur discrimine bien un contraste vocalique (HI), plus il le produit distinctement d'un point de vue articulatoire (différences entre les positions des senseurs EMA).

#### 2.2.2.2 Les consonnes comme objet d'étude

L'objet d'étude du deuxième volet des études de Perkell et al. (2003, 2004) concernait la production et la perception des consonnes. Ainsi, ils ont exploré le contraste [s] versus [ʃ] dans le but d'étudier le rôle de l'espace somatosensoriel et sa relation avec les capacités de discrimination. Leur hypothèse était que les buts acoustiques des fricatives consistaient en des distributions d'énergie particulières dans le spectre de bruit, alors que les buts somatosensoriels consistaient en des patrons de contact du dos de la langue avec le palais et les dents. Ils ont exploré cette hypothèse à l'aide de l'effet de saturation, qui permet de définir le contraste [s] versus [ʃ]. En effet, lors de la production de [ʃ], un sillon mince et long est créé entre le dos de la langue et le palais, formant ainsi une cavité sublinguale. La

production de [s] donne lieu à un sillon plus court avec le dos de la langue dans une position plus antérieure, donc à l'absence de cavité sublinguale. Plus le dos de la langue est graduellement déplacé d'une configuration [ʃ] vers l'avant, plus le volume de la cavité sublinguale diminue graduellement. Quand le contact s'effectue entre la langue et le palais, le volume de la cavité sublinguale passe soudainement à zéro. Puisque la distribution des fréquences du bruit irradiant des sibilantes dépend en partie de la taille de la cavité antérieure à la constriction, l'élimination de la cavité sublinguale cause soudainement la hausse du centre de gravité spectral, l'une étant caractéristique de [ʃ] et l'autre de [s]. La relation non linéaire (quantique) entre les commandes motrices sous-tendant les mouvements articulatoires et la fonction d'aire résultante et l'output acoustique s'appelle l'effet de saturation. À partir de la définition tout juste exposée de l'effet de saturation et des résultats qu'ils ont obtenus avec les voyelles (revoir la section 2.2.2.1), les auteurs ont posé les hypothèses selon lesquelles les locuteurs utiliseraient l'effet de saturation, qui est un phénomène relatif à la production, pour différencier perceptuellement [s] de [ʃ] et qu'il serait alors possible d'observer de la variation entre cette capacité d'un locuteur à l'autre. Le but somatosensoriel qui consiste en l'utilisation du contact de la langue et l'habileté à discriminer auditivement [s] de [ʃ] seraient prédicteurs de l'efficacité acoustique du contraste produit.

Afin de vérifier cette hypothèse, les auteurs ont procédé à des enregistrements acoustiques et à des enregistrements de la durée du contact entre le dessous de la pointe de la langue et les incisives inférieures auprès de 19 locuteurs. Ces derniers devaient répéter les séquences « Say (sod, shod, said, shed) hit it ». Ils ont ensuite calculé le centre de gravité spectral, ce qui a permis de quantifier le contraste acoustique. Pour la plupart des sujets, la proportion de contact de la langue par rapport à la durée de la friction était de 1,0 pour [s] et de 0,0 pour [ʃ]. Les sujets ont été classés comme de « bons locuteurs » (HI) et comme de « mauvais locuteurs » (LO) selon que la différence de contact (différence de contact = (proportion contact [s] – proportion contact [ʃ]) moyennée pour les deux environnements vocaliques) était respectivement plus grande et plus petite que 0,81.

Ensuite, les sujets ont été soumis à un test de perception ABX au cours duquel ils devaient discriminer des stimuli issus du continuum de « said » à « shed ». Ont été considérés

comme de « bons auditeurs » (HI) les sujets qui ont eu un score parfait et « mauvais auditeurs » (LO) ceux qui ont présenté un score inférieur. Une corrélation positive a été trouvée entre la séparation acoustique des paires de fricatives (mesurée à partir des centres de gravité spectraux) et la différence temporelle de contact langue-palais de même qu'entre la séparation acoustique et les scores de discrimination. Ces résultats sont donc venus confirmer que les locuteurs qui percevaient de fins détails acoustiques faisaient l'apprentissage de régions-cibles plus petites que les locuteurs qui présentaient une perception moins précise.

Les assises de l'étude de Newman (2003) sont différentes de celles des autres études mentionnées jusqu'à présent puisque sa recherche de liens entre production et perception sous-tendait le développement d'une méthode permettant de distinguer les indices alternatifs utilisés en perception de la parole. En effet, l'auteure est partie du postulat selon lequel différentes articulations issues de différentes combinaisons d'actions musculaires peuvent donner lieu au même son et que la façon d'articuler d'un locuteur pourrait alors influencer ses attentes envers les productions des autres locuteurs. Les individus qui produiraient un son d'une certaine manière seraient susceptibles de juger les productions des autres à partir du même critère. Newman (2003) justifie son étude en critiquant un point de celles que nous avons présentées : il n'y a aucune raison d'attendre des corrélations entre la production et la perception à moins que la propriété acoustique étudiée ne soit reliée aux indices actuellement utilisés par les auditeurs. Sa recherche visait donc à explorer la faisabilité de l'utilisation du lien entre les corrélations production et perception comme moyen d'évaluer le caractère approprié des mesures de production.

Pour ce faire, 25 locuteurs natifs de l'anglais ont participé à une expérience de perception sur le VOT (« voice onset time »). Ils devaient écouter des continua de 21 stimuli allant de [ba] à \*[pa] (l'astérisque marquant le caractère exagéré du VOT de [p]) issues des productions naturelles d'une locutrice et en faire des jugements de qualité. Pour chaque locuteur, l'item qui a obtenu le meilleur jugement a été considéré comme le prototype de l'auditeur et c'est à partir de ce dernier que l'auteure a cherché des corrélations avec son prototype de production. Ainsi, elle a trouvé une relation significative entre les productions des locuteurs et leurs prototypes perceptuels; ceux dont les prototypes perceptuels de [p] dénotaient de grands VOT produisaient également des [p] dont la valeur du VOT était élevée.

### 2.2.3 Synthèse des expériences présentées

Le tableau 2.2 présente un résumé des méthodes d'investigation des liens entre la production et la perception de la parole des 7 études expérimentales présentées.

Tableau 2.2  
Études expérimentales relatives aux relations entre la production et la perception de la parole

Auteurs	Données de production	Données de perception	Conclusions
Paliwal, Lindsay et Ainsworth (1983)	Valeurs formantiques de voyelles issues de [hVd] V = [ɜ ʌ u ʊ o ɔ a æ ɛ ɪ ɪ]	Identification de voyelles synthétisées	Corrélations intra et inter-sujets ne sont pas significativement différentes
Ainsworth et Paliwal (1984)	Valeurs des loci formantiques des glides de [Cɛ] C=[w r l j]	Identification de glides synthétisés	Corrélations intra et inter-sujets ne sont pas significativement différentes
Bell-Berti et al. (1979)	Activation musculaire du génio-glosse issue d'enregistrements EMG de [əpVp] V = [i ɪ e ɛ æ]	Identification de continuum de voyelles synthétisées (condition contrôle et condition d'ancrage)	Différences de stratégies articulatoires reflètent des différences au niveau perceptif relativement à la sensibilité à l'effet d'ancrage
Fox (1982)	Valeurs formantiques V = [i ɪ e æ a ʌ u u]	Comparaisons dyadiques des voyelles dans contexte [h V d]	Le système perceptuel fait référence à un prototype internalisé identique au prototype de la cible acoustico-articulatoire
Perkell et al. (2003, 2004)	Positions de la langue issues d'enregistrements EMA de voyelles contenues dans [kad kʌd hUd hud]	Discrimination ABX de continua synthétisés [kad] à [kʌd] et [hUd] à [hud]	Plus un locuteur discrimine bien un contraste vocalique et plus il le produit distinctement d'un point de vue articulatoire
Perkell et al. (2003, 2004)	Durée de contact langue-palais issue d'enregistrements acoustiques de [sɔd ʃɔd sɛd ʃɛd]	Discrimination ABX de continua synthétisés de [sɛd] à [ʃɛd]	Corrélation positive entre séparation acoustique et contact langue-palais; corrélation positive entre séparation acoustique et performances en discrimination.

<b>Auteurs</b> (suite)	<b>Données de production</b> (suite)	<b>Données de perception</b> (suite)	<b>Conclusions</b> (suite)
Newman (2003)	Durée du VOT de production de [ba] et [pa].	Jugements de qualité de 21 items du continuum de [ba] à *[pa]	Relations significatives entre les VOT des consonnes produites et les prototypes perceptuels de ces mêmes consonnes.

Deux d'entre elles ont conduit à la conclusion que les auditeurs ne référaient pas à leur articulation en situation de perception de voyelles et de glides alors que les 5 autres ont montré qu'il existait un lien entre ces 2 versants. Or, ce lien s'est manifesté entre des stratégies articulatoires et perceptuelles, en une précision acoustique analogue à une sensibilité à de petites différences acoustiques en perception.

Les types de données permettant d'explorer les relations entre perception et production de la parole que sont les valeurs formantiques issues d'enregistrements acoustiques, les mesures articulatoires et les tests d'identification et de discrimination de stimuli synthétisés ont été très inspirantes dans le cadre de la planification de notre propre cueillette de données et de leur analyse.

## CHAPITRE III

### LES RELATIONS ENTRE LA PRODUCTION ET LA PERCEPTION DE LA PAROLE : LE CAS DES AVEUGLES

L'étude de la perception de la parole par des individus vivant dans l'unimodalité acoustique trouve toute sa pertinence dans la perspective de la bimodalité de la perception de la parole et du rôle joué par l'information visuelle dans la stabilité de la perception de catégories phonétiques. Nous présentons une certaine littérature ayant exploré cette avenue auprès d'individus aveugles. D'autre part, nous rapportons certains travaux effectués auprès de cette population dans l'optique de vérifier si l'absence de patrons visuels des gestes articulatoires et de rétroaction visuelle intervient dans leur façon de produire la parole.

#### 3.1 Perception auditive des auditeurs aveugles

Plusieurs recherches ont fait l'hypothèse de capacités auditives supérieures chez les aveugles par rapport aux voyants, c'est-à-dire d'habiletés compensatoires du canal auditif face à la privation sensorielle que représente la cécité. Réorganisation corticale favorisant le traitement auditif, sensibilité accrue aux stimuli de parole, direction des ressources attentionnelles vers le canal auditif et plus grande fréquence d'exposition à la stimulation acoustique sont des explications qui sont souvent avancées pour rendre compte de cette supériorité auditive potentielle. À la suite d'une revue de plusieurs recherches effectuées auprès de populations aveugles enfants et adultes, nous verrons qu'il ne ressort pas de consensus global quant à la supériorité de l'audition des aveugles sur celle des voyants.

Miller (1992) a procédé à la revue de travaux ayant été menés durant les années 1960 à 1980 sur la perception auditive des aveugles, dans la perspective de départager ceux favorisant les modèles structuraux de ceux favorisant les modèles stratégiques de compensation auditive. Les modèles structuraux de compensation, dans le cadre de la



plasticité du cerveau, supposent une réorganisation corticale au profit du traitement de l'information auditive; les modèles stratégiques attribuent à des effets attentionnels ou de fréquence d'exposition à de l'input auditif les soi-disant meilleures performances en perception auditive des aveugles. L'auteur a examiné 20 études, lesquelles comprenaient 39 groupes de sujets: parmi ces 39 groupes de comparaison, 22 accordaient une supériorité perceptive aux sujets aveugles. Nous ne citerons pas ici chacune des études discutées par Miller (1992), notre but étant plutôt de décrire les grandes tendances ressortant de la synthèse de l'auteur. Par contre, au cours des paragraphes subséquents, nous revenons sur quelques études citées par l'auteur, de même que sur quelques autres plus récentes, de façon à détailler les types de tâches auxquelles les sujets étaient confrontés et à préciser quelles parties de la perception auditive étaient sous investigation.

Dans les travaux rapportés par Miller (1992), la supériorité de la perception auditive des aveugles s'est particulièrement manifestée dans des tâches auditives complexes et dans des tâches n'impliquant pas des stimuli reliés au langage. Les aveugles se sont avérés plus performants notamment dans des tâches de discrimination de fréquences, de comparaison de courbes mélodiques, de discrimination du nombre de voix contenues dans un chœur, d'identification de voix non familières, d'écoute dichotique de chiffres et d'identification monaurale de phrases, de nombres et de voyelles présentés dans le bruit. Par contre, à l'égard de la détection de bruit ou de la discrimination de l'intensité en écoute dichotique, leurs performances ne se distinguent pas de celles des voyants. Elles sont mêmes inférieures dans des tâches de différenciation d'intensité lors de l'écoute dichotique de tons purs, de séquences consonnes-voyelles et de noms et dans des tâches de dénomination d'objets associés à des sons. L'auteur exprime toutefois quelques réserves quant à la validité de certains tests vis-à-vis de l'évaluation de la perception auditive et souligne la variabilité qu'amènent certaines caractéristiques de la population aveugle telles l'âge d'apparition, la durée et le degré de cécité. Ces réserves l'empêchent donc de tirer une conclusion forte quant à la forme (structurale ou stratégique) que revêt l'hypothèse de la compensation auditive; «(...) it is still by no means clear the extent to which observed differences in auditory processing associated with visual impairment represent variations in underlying capacity, the development of strategies, attentional activation, or all these factors. » (Miller, 1992 : 209).

Cette remarque souligne toute l'importance à accorder à l'homogénéité des caractéristiques des participants aveugles lors d'études comparatives entre voyants et aveugles.

Regardons maintenant de plus près quelques études. D'abord, Stankov et Splisbury (1978) ont soumis 30 sujets âgés entre 10 et 15 ans aveugles, partiellement aveugles et voyants à une batterie de 26 tests d'audition, dans le but de fournir des arguments à l'inclusion de certaines habiletés auditives aux habiletés cognitives et d'examiner les différences qui pourraient ressortir entre les groupes de sujets aveugles, partiellement aveugles et voyants. Les habiletés auditives et cognitives étudiées étaient la perception temporelle, la discrimination de patrons sonores, la perception de la parole dans des conditions de distraction et de distorsion, le maintien et le jugement du rythme. Ces tests, qui incluaient des items musicaux et verbaux, ont permis de montrer que les capacités des aveugles se démarquaient au niveau de la discrimination de patrons sonores, qu'elles semblaient inférieures en ce qui a trait au maintien et au jugement du rythme, et égales à celles des voyants en perception de la parole sous des conditions de distorsion ou de distraction.

D'entrée de jeu, Starlinger et Niemeyer (1981) et Niemeyer et Starlinger (1981), sont partis de la question fondamentale: «Do blind hear better?». Ils posent la question dans une perspective audiolgique et examinent l'analyse périphérique et centrale de l'information auditive de 18 aveugles et 18 voyants âgés entre 18 et 27 ans, tous locuteurs de l'allemand. Les sujets ont été soumis à un test d'audition par médiophone afin de mesurer les différences dans les temps de réponses pour la localisation gauche-droite. Leurs seuils différentiels d'intensité et de fréquence ont également été testés, de même que leur réflexe stapédien contralatéral<sup>2</sup>. Ces tests audiolgiques ayant servi à étudier les fonctions périphériques de leur audition n'ont pas révélé un affinement des seuils différentiels des aveugles quant à la perception de la durée, de l'intensité ou de la fréquence, ni une sensibilité accrue aux intensités sonores supraliminales.

Notons par contre que les sujets aveugles ayant participé à cette étude ne présentaient pas de caractéristiques homogènes, bien que leurs résultats aient été présentés

---

<sup>2</sup> Le réflexe stapédien consiste en une réaction des muscles du tympan soumis à un son de forte intensité; la réponse à cette forte stimulation sonore consiste en une contraction réflexe.

indistinctement. En effet, si le titre laisse croire que cette étude a été menée auprès de sujets dont la cécité est congénitale ou a été acquise en bas âge, «Investigations on Auditory Processing in Congenital and Early Acquired Blindness», nous y apprenons plutôt que la durée de la cécité est assez variable, 5 des 18 sujets l'ayant même acquise entre l'âge de 7 et 19 ans. La durée de la cécité constituant un facteur d'importance dans le développement des habiletés sensorielles, il aurait été pertinent d'en mesurer l'influence. De plus, les stimuli utilisés ne relevant pas de la parole et ne faisant pas intervenir de fonctions auditives complexes, ces résultats sont insuffisants pour constituer les bases d'une description du traitement acoustique effectué par les aveugles. C'est d'ailleurs pour cette raison que Niemeyer et Starlinger (1981) ont traité des fonctions centrales de l'audition dans la deuxième partie de leur étude.

En effet, la supériorité des sujets aveugles s'est alors manifestée dans les tests audiologiques impliquant des processus d'intégration de haut niveau. En effet, dans une tâche d'écoute dichotique de Chocholle, impliquant l'intégration binaurale de tons purs et de bruit à différentes intensités, les sujets aveugles se sont avérés significativement meilleurs dans la discrimination des différences d'intensité lorsque du bruit blanc était présenté dans l'oreille controlatérale. En ce qui a trait à la discrimination de la parole présentée selon divers niveaux sémantiques (chiffres, mots monosyllabiques, phrases) et divers niveaux d'intensité, elle s'est montrée significativement supérieure chez les aveugles. Finalement, la latence des potentiels évoqués tardifs corticaux, à la suite de la présentation de tons purs, s'est montrée significativement plus courte chez les aveugles que chez les voyants. Les auteurs ont donc vu en ces résultats une claire réorganisation des canaux de transmission de l'information et une optimisation du système nerveux central, ce qui les a amenés à postuler une réorganisation cérébrale chez les aveugles due à la plasticité du cerveau.

Lucas (1984), dans sa courte étude sur les capacités de discrimination auditive de l'enfant aveugle, a également utilisé des stimuli sémantiquement riches. En effet, elle a cherché à mesurer l'influence de la privation de la modalité visuelle chez 10 enfants aveugles âgés entre 5 et 7 ans sur leur détection d'erreurs de prononciations de mots contenus dans une histoire qui leur était lue. Selon l'auteure, le fait que les jeunes sujets aveugles aient rapporté plus d'erreurs de prononciation que le groupe contrôle constitué de 10 enfants voyants du

même âge est relié à la supériorité de leurs habiletés de discrimination; « In the speech perception task a difference was found between the normal and blind subjects. Blind subjects spotted significantly more articulatory errors than the normal subjects revealing superior auditory discrimination skills » (Lucas, 1984: 75). Cette conclusion nous apparaît trop rapide et généralisante étant donné la faible étendue des capacités de discrimination testées dans le cadre de cette étude. De plus, si chacun des mots mal prononcés présentés aux enfants « would have one mispronounced consonant e. g. (vusi) for “fussy” » (Lucas, 1984 : 75), nous ne connaissons pas la nature acoustique et visuelle des consonnes mal prononcées; une telle analyse phonologique aurait pourtant été importante dans une perspective de caractérisation des capacités discriminatrices. Aucune remarque n’est faite ici également à propos du niveau de cécité des jeunes sujets aveugles. En outre, nous savons qu’entre 5 et 7 ans, les enfants vivent une période de développement syntaxique, phonologique, morphologique rapide, mais variable selon les individus. Il est donc probable que des interactions entre les différents systèmes linguistiques de même que la variabilité interindividuelle aient influencé les résultats.

Hugdahl et al. (2004), en faisant une analogie avec la réorganisation cérébrale attestée chez les sourds, ont testé l’idée selon laquelle l’absence d’input visuel chez les aveugles donne lieu à un traitement différent des stimuli présentés dans la modalité auditive. Pour ce faire, ils ont soumis à une tâche d’écoute dichotique 14 adultes aveugles et 129 adultes voyants, tous droitiers et locuteurs du finnois. Les sujets devaient écouter dans un casque d’écoute des paires de stimuli composées des séquences consonnes-voyelles suivantes : [ba da ga pa ta ka]. Ils étaient soumis à 3 conditions de rappel : rappel sans direction préalable de l’attention, rappel de la perception de l’oreille droite et rappel de la perception de l’oreille gauche. Toutes conditions confondues, ce sont les sujets aveugles qui ont fourni le plus de bonnes réponses. De plus, les aveugles ont fourni significativement plus de bonnes réponses aux stimuli présentés à l’oreille droite dans la condition sans direction préalable de l’attention, et aux stimuli présentés à l’oreille gauche dans la condition de rappel de l’oreille gauche. Selon les auteurs, ces différences sont évocatrices d’une réorganisation hémisphérique pour la perception de la parole chez les aveugles et d’un contrôle accru dans la direction de l’attention, facilitant non seulement le traitement des stimuli de parole présentés dans la modalité auditive, mais résultant également en une sensibilité accrue permettant de

surmonter l'effet de latéralité relié à la perception des sons de la parole par l'hémisphère gauche.

Gougoux et al. (2004), toujours à la recherche de domaines relatifs à l'audition dans lesquels les aveugles démontreraient des habiletés supérieures à celles des voyants, se sont intéressés à la perception de la direction du changement de hauteur. Pour ce faire, ils ont testé 7 sujets aveugles adultes francophones dont la cécité a été acquise entre 0 et 2 ans, 7 sujets aveugles adultes dont la cécité a été acquise entre 5 et 45 ans et 12 sujets adultes voyants. Ils leur ont fait entendre binauralement des séries de 2 tons purs consécutifs de fréquences différentes. La tâche des sujets était de dire si le second ton était plus haut ou plus bas que le premier. Les paires de stimuli variaient les unes par rapport aux autres en durée (de 20,8 ms à 333 ms) et en différence de fréquences (de 1/8 à 1/128 d'octave). Les sujets aveugles ayant acquis leur cécité en bas âge se sont montrés significativement plus performants que les sujets aveugles ayant acquis leur cécité tardivement et que les sujets voyants, tant au niveau de la perception des différences de hauteur lorsque c'était la durée qui était manipulée que lorsque c'était la différence de fréquences qui l'était. Une corrélation négative a également été trouvée entre l'âge d'apparition de la cécité des sujets aveugles et leur performance globale. Les résultats des aveugles tardifs ne sont quant à eux pas significativement différents de ceux des voyants. Les auteurs attribuent ces résultats à la mise en place de mécanismes de compensation auditive suite à une privation d'input visuel.

Le tableau 3.1 présente une synthèse des résultats mentionnés ci haut. Nous ne pouvons pas tirer de conclusions générales quant à la différence entre la perception auditive des aveugles par rapport à celle des voyants sur la base de la synthèse des travaux antérieurs. Plusieurs facettes de la perception auditive ont été investiguées, mais celle qui nous intéressera ici, à savoir la perception de la parole sur la base de l'identification phonémique, n'a, à notre connaissance, nullement été décrite jusqu'à présent. La description acoustique détaillée de la perception des contrastes vocaliques oraux du français québécois que nous nous proposons de faire dans le cadre de ce mémoire auprès d'adultes aveugles et voyants constituera donc en une contribution originale à l'étude de la perception auditive chez la population aveugle.

Tableau 3.1  
Synthèse des résultats des études sur la perception auditive chez les adultes

<b>Tâches</b>	<b>Tests/stimuli</b>	<b>Types de stimuli (P=parole, A=autres)</b>	<b>Performances aveugles vs voyants</b>
Discrimination	Courbes mélodiques	A	Supérieures
	Patrons sonores (items musicaux et verbaux)	A et P	Supérieures
	Intensité tons purs	A	Égales et inférieures
	Hauteur de tons purs	A	Supérieures
	Séquences CV	P	Inférieures
	Noms	P	Inférieures
	Nombre de voix dans un chœur	P	Supérieures
	Chiffres, mots, phrases dans le bruit	P	Supérieures
	Erreurs de prononciation	P	Supérieures
Identification	Voix non familières	P	Supérieures
	Objets	P	Inférieures
Écoute dichotique	Chiffres	P	Supérieures
	Séquences CV	P	Supérieures
	Tons purs	A	Égales
Autres	Maintien/jugement du rythme	A	Inférieures
	Détection de bruit	A	Égales
	Latence des potentiels évoqués corticaux (tons purs)	A	Supérieures
	Localisation gauche-droite	P et A	Égales
	Perception de la parole en condition distorsion/distraktion	P	Égales

### 3.2 Développement de la production de la parole chez les locuteurs aveugles

Si la littérature concernant les capacités en perception auditive des aveugles provient surtout d'étude ayant été menées auprès d'adultes, celles concernant les habiletés en production de la parole en condition unimodale acoustique sont pour la plupart développementales.

Le rôle de l'input visuel est bien connu dans le processus d'imitation inhérent à l'acquisition de la parole. Durant la période préverbale, les enfants voyants observent les mouvements faciaux des adultes et tentent même souvent de les reproduire. En ce qui a trait aux mouvements articulatoires visibles, c'est souvent d'abord par une imitation silencieuse que les bébés commencent leur « entraînement » articulatoire. Déjà, à l'âge de 4 mois, tel que le révèle l'étude de Kuhl et Meltzoff (1982), les bébés voyants sont en mesure d'apparier l'image labiale d'une voyelle au signal acoustique qui s'y rattache et ils ont même tendance à imiter les mouvements articulatoires présentés visuellement (Legerstee, 1990). C'est donc dire que le lien entre l'audition, la vision et la dynamique articulatoire s'établit très tôt au cours du développement. Par contre, les bébés aveugles ne sont pas en mesure de relier l'information visuelle fournie par des images labiales à la perception kinesthésique de leur propre imitation. Et s'ils s'« exercent » articulatoirement, ils n'ont pas accès à la rétroaction visuelle de leur interlocuteur (sourires, expressions faciales) devant cet « entraînement ». À cet égard, Elster (1983) mentionne que :

« The blind child, on the other hand, has no way of watching his mother's facial expressions or of observing the joint and simultaneous nature of visual and auditory events (...) One of the early means an infant has of establishing contact is to produce sounds. The blind infant, however, seems to take less advantage of this than the sighted infant, since auditory stimuli cannot be connected with visual stimuli to form perceptual complexes on a higher level. » (Elster, 1983 : 19.)

Les revues de littérature effectuées par Elster (1983) et Mills (1987) sur la question de l'incidence des déviations articulatoires et d'autres anomalies dans la communication verbale des enfants aveugles diffèrent vraiment dans le portrait qu'elles tracent de la population aveugle enfant, bien qu'il y ait un important recoupement des études présentées. Le titre de l'article de Elster (1983), « Abnormalities in Verbal Communication » est révélateur de l'approche adoptée par l'auteur. En effet, il en ressort qu'une importante proportion des enfants aveugles ou partiellement aveugles présentent un développement du langage problématique, de l'ordre de 33% à 62% dans la revue de la littérature présentée et

de l'ordre de 76% à 86% dans la présentation de ses propres travaux menés au Vienna Institute for the Blind auprès d'enfants aveugles âgés entre 3 et 9 ans. De plus, une importante proportion de troubles du langage recensés serait de nature phonologique ou phonétique.

Au fil de la discussion proposée, nous sommes toutefois amenés à faire preuve de beaucoup de prudence quant à l'interprétation de ces résultats, l'auteur concluant finalement que ces problèmes reliés au développement du langage sont davantage liés aux handicaps accompagnant la cécité de ces enfants qu'à la cécité elle-même.

« When analyzing the incidence in phonological-phonetic disorders and morpho-syntactic and lexical-semantic disorders between totally blind and partially-sighted children, it was found that, contrary to expectations, the totally blind did not show a generally higher incidence of disorders compared with the partially-sighted. The surprising result leads one to the conclusion that loss of vision is less of a crucial factor in causing a language disorder than the presence of an additional handicap or an unfavourable social background. » (Elster, 1983 : 37.)

Mills (1987) mentionne quant à elle d'entrée de jeu la vigilance dont il faut faire preuve lors de l'interprétation des résultats des études portant sur les déviations articulatoires et autres désordres langagiers auprès de populations aveugles, étant donné la difficulté à trouver des populations aveugles et voyantes comparables.

Une des études citées par Mills (1987), celle de Göllec (1972), également mentionnée dans d'autres travaux (Elster, 1983) suscite notre intérêt. En effet, il s'agit d'une étude acoustico-articulatoire des voyelles du hongrois, menée auprès d'adolescents de 13 et 14 ans, à l'aide de l'électromyographie. L'auteur a observé une dynamique labiale peu prononcée chez ses sujets, mais sans conséquences significatives sur les propriétés acoustiques des productions. Göllec (1972) attribuerait ce caractère quasi intact des produits acoustiques à l'action compensatoire de la cavité orale. Cela voudrait donc dire qu'arrivés à maturité articulatoire, les aveugles auraient une dynamique articulatoire différente des voyants en raison du développement de cette dynamique sans input visuel, mais que leur système phonologique serait en place et leur permettrait alors d'atteindre les mêmes cibles acoustiques que les voyants. Cette hypothèse forte soulève des questions très intéressantes et servira d'ailleurs de moteur à ce mémoire.



Dans le but de tester le rôle de l'information visuelle dans l'acquisition des sons de la parole, Mills (1983) a comparé les productions spontanées et les répétitions de séquences [C-a] d'une enfant germanophone présentant une cécité congénitale (1;9 à 2;1 ans) à celles de 2 enfants anglophones (respectivement 1;6 et de 2;2 à 3;0 ans). Mise à part la cécité de l'enfant aveugle, aucun des 3 enfants ne présentaient d'handicap et leur développement du langage se situait dans les normales. L'auteure fait certaines prédictions quant au patron d'acquisition de la phonologie chez les enfants voyants et aveugles, en regard à l'accès ou non à l'information visuelle fournie par les mouvements articulatoires visibles. Elle fait l'hypothèse que, les enfants voyants apprenant graduellement à distinguer les classes visuelles des sons les uns des autres, s'ils font des substitutions phonologiques, ces dernières seront davantage susceptibles de se produire à l'intérieur même de ces classes visuelles, sur la base de facteurs tels la similarité acoustique. Les principales classes visuelles considérées dans cette étude permettent de distinguer les articulations bilabiales, les labio-dentales, les dentales, et les autres (alvéolaires, vélaires). Les enfants aveugles n'étant pas influencés par les catégories visuelles, leurs substitutions se produiront indifféremment entre ou à l'intérieur de ces catégories, sur la base de la similarité acoustique. Autant dans la tâche de répétition que dans ses productions spontanées, dans lesquelles seule la consonne initiale était considérée, l'enfant aveugle a effectué plus de substitutions phonémiques entre les catégories visuelles que les 2 enfants voyants, confirmant les hypothèses tout juste énoncées.

Les sujets comparés dans l'étude de Mills (1983) n'étant pas tous locuteurs de la même langue maternelle et les données d'une seule enfant aveugle n'étant pas suffisantes pour dresser un tableau du développement phonologique des enfants aveugles, Mills (1987) présente une étude similaire, en reprenant les données de l'enfant aveugle germanophone de son étude précédente, et en ajoutant celles de 2 autres enfants aveugles, également germanophones, âgés entre 1;0 an et 2;4 ans, et les comparent à celles de 3 enfants voyants germanophones âgés entre 1;1 an et 1;11 an. Seule la première consonne des mots produits spontanément a été considérée. Une analyse statistique prenant en compte les facteurs de vision/cécité des sujets, d'articulation visible/non visible des consonnes et de bonnes/mauvaises productions des sujets ont permis de confirmer les hypothèses mentionnées plus haut. En effet, beaucoup de variation individuelle a été observée, mais les enfants voyants ont tout de même donné significativement plus de bonnes réponses, une

bonne réponse correspondant à la production de la consonne appropriée pour le mot produit. Ils ont fait significativement moins d'erreurs avec les consonnes dont l'articulation est visible et plus d'erreurs avec les articulations non visibles. Globalement, ils ont fait beaucoup moins de substitutions entre les catégories visuelles que les enfants aveugles. Quant à ces derniers, en plus de présenter plus d'erreurs, ils en ont davantage commis avec les sons dont l'articulation est visible.

Ces résultats dénotent la légère différence du patron d'acquisition des consonnes chez les enfants aveugles, attribuable à l'absence d'information visuelle. L'auteure souligne toutefois que bien que l'information visuelle soit importante dans le développement de la phonologie, elle n'est tout de même pas essentielle à son acquisition à long terme.

À cet égard, Lucas (1984), dans son étude menée auprès de 10 enfants aveugles âgés entre 5 et 7 ans et 10 enfants voyants du même groupe d'âge, n'a pas trouvé de différence significative entre les productions des 2 groupes de sujets dans une tâche de répétition de non mots énoncés par l'expérimentatrice. Thomas et al. (2000) ont quant à eux obtenu des résultats contradictoires à ceux-ci auprès de 8 enfants malvoyants âgés entre 6;5 ans et 9;5 ans. En effet, en parole spontanée, ils ont observé la présence de quelques erreurs phonologiques. Le bilan en conscience phonologique incluait des tâches de recherche d'intrus (parmi 3 logatomes ou 3 mots, identifier les 2 logatomes (ou les 2 mots) qui partagent la même consonne initiale, puis la même consonne du milieu et la même rime), de comptage phonémique et de répétition de logatomes. Dans la tâche de recherche d'intrus, les enfants malvoyants ont présenté de faibles proportions de bonnes réponses, la majorité des confusions concernant le lieu d'articulation des consonnes, et le plus souvent, ces erreurs sont survenues à l'intérieur des logatomes. Dans la tâche impliquant les rimes, ils ont éprouvé des difficultés avec les voyelles en finale, confondant certaines voyelles ouvertes et fermées et certaines voyelles nasales et orales. Finalement, les enfants malvoyants se sont montrés hautement déficitaires par rapport aux enfants voyants en ce qui a trait à la répétition des logatomes, ce qui entre en contradiction avec les résultats obtenus par Lucas (1984). Leurs erreurs provenaient surtout de l'opposition de lieu d'articulation, où une tendance à produire des postérieures plutôt que des antérieures a été relevée (par exemple, production de [k] plutôt que [p]). Thomas et al. (2000) mentionnent d'ailleurs que « la quasi-absence de lecture

labiale peut expliquer cette confusion, d'autant que les caractéristiques acoustiques entre les bilabiales et les vélaires sont très proches » (Thomas et al., 2000 : 419).

Prost et al. (2002), à partir des observations de Thomas et al. (2000), ont décidé de tester l'effet d'un entraînement de la conscience phonologique sur la capacité des enfants malvoyants à identifier et produire correctement le lieu d'articulation des consonnes. Notre intérêt ne portant que sur leurs compétences en conscience phonologique a priori, nous ne présenterons que les résultats de la première évaluation phonologique à laquelle les 2 groupes de sujets ont été soumis. Le groupe A était composé de 6 enfants amblyopes et d'un enfant aveugle (moyenne d'âge de 7;8 ans) et le groupe B, de 5 enfants amblyopes et de 2 enfants aveugles. Dans une tâche de répétition de mots, les sujets du groupe A ont obtenu entre 86,3% et 100% de bonnes réponses et le groupe B a obtenu une moyenne 70% de bonnes réponses. Les résultats obtenus en répétition de logatomes étaient par contre inférieurs, avec une moyenne de 72,2% pour le groupe A, et de 43,8% pour le groupe B. Bien que les résultats soient très différents pour les 2 groupes, l'analyse phonologique de leurs erreurs révèle une homogénéité des erreurs phonologiques (erreurs de mode, de lieu, de voisement, métathèse).

La recension des écrits à l'égard de la production de la parole chez la population aveugle est exempte de données recueillies auprès d'adultes aveugles. De plus, mis à part l'étude de Göllec (1972), aucune ne fournit de description acoustique ou articulatoire des productions des aveugles, des paramètres qui nous semblent pourtant essentiels à la description de la parole auprès de toute population. Nous espérons que le protocole expérimental que nous présentons au prochain chapitre nous permettra de fournir une description de l'organisation acoustique des productions de voyelles orales de sujets aveugles et ainsi, de combler l'absence d'information à l'égard de ce premier paramètre.

## DEUXIÈME PARTIE

### MÉTHODOLOGIE

## CHAPITRE IV

### PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

#### 4.1 Les objectifs de la recherche

Au cours des prochaines sections, nous présentons les objectifs de la recherche et les individus qui y ont participé. Tel que la partie théorique précédente a permis d'en étayer les fondements, l'objet d'étude sous-tendant ce mémoire est l'exploration du rôle joué par la vision dans les mécanismes de production et de perception de la parole chez l'adulte. C'est par le biais du recrutement d'adultes voyants et aveugles, auprès de qui nous avons recueilli des données de nature acoustique, perceptive, articulatoire et cinématique des 11 voyelles orales du français québécois que nous avons tenté de mesurer l'impact de la présence ou de l'absence de la modalité visuelle sur la réalisation des mécanismes de la parole.

Dans la foulée des travaux de Perkell et al. (2003, 2004) sur les relations entre la production et la perception de la parole, nous avons trouvé dans le paradigme de recherche de la cécité une avenue d'exploration novatrice de ce type de relations à l'aide des données recueillies. Ces dernières ont été obtenues dans le cadre de tests de perception (identification et discrimination de voyelles synthétisées), d'enregistrements acoustiques de production de voyelle et d'enregistrements vidéo de données géométriques des lèvres. L'analyse de l'ensemble de ces données aurait largement dépassé le cadre du présent mémoire, si bien que nous nous concentrerons principalement sur l'analyse des tests perceptifs et sur les données acoustiques obtenus en production, bien que des descriptions et des commentaires seront formulés à l'endroit des données articulatoires et géométriques.

Tel que nous l'avons vu dans les chapitres précédents, peu de travaux ont jusqu'à présent tenté une comparaison de la production et de la perception de la parole chez des populations adultes aveugles et voyantes et c'est en ce sens que ce mémoire revêt un

caractère novateur et original et que nous pouvons le qualifier d'exploratoire à plusieurs égards. Nous nous permettons un rappel détaillé de nos objectifs de recherche d'abord énoncés en introduction puisque nous avons maintenant discuté des notions théoriques et expérimentales préalables à propos des caractéristiques articulatoires et acoustiques des voyelles du français, du caractère définitivement multimodal de la parole et du lien indéniable entre production et perception de la parole. Ces objectifs se présentent selon les trois volets d'exploration suivants :

#### La perception de la parole

- *Caractériser les capacités d'identification des voyelles des sujets voyants et non voyants selon les traits d'aperture, de lieu d'articulation et d'arrondissement.*
- *Caractériser les capacités de discrimination des voyelles des sujets voyants et non voyants selon les traits d'aperture (de [i] à [e]), de lieu d'articulation (de [y] à [u]) et d'arrondissement (de [i] à [y]).*

#### La production de la parole

- *Décrire l'organisation acoustico-articulatoire du trapèze vocalique dans le plan F1 vs F2 (en Hertz) des productions de tous les sujets voyants et non voyants.*
- *Décrire l'organisation auditivo-acoustique du trapèze vocalique dans le plan F1-F0 vs F2-F1 (en Hertz) des productions de tous les sujets voyants et non voyants.*
- *Tester le MEM sur les données cinématiques de 2 sujets aveugles et 2 sujets voyants dans le cadre d'une description de la coarticulation labiale anticipante.*

#### Le lien entre la production et la perception

- *Relier les données de perception et de production de chacun des sujets et de chacun des groupes et démontrer l'impact de la perception (acoustique et visuelle) sur la production des voyelles.*

## 4.2 Les participants

Un groupe de 6 adultes normo-voyants et un groupe de 6 adultes aveugles ont participé à la cueillette de données de perception et de production de la parole. Au-delà de la variable d'accès à la vision, nous avons tenté d'obtenir une certaine homogénéité quant à l'intervalle d'âge des participants. Ainsi, au moment des tests et des enregistrements, tous les sujets étaient âgés entre 25 et 54 ans, intervalle restreint à l'âge adulte au cours duquel les individus sont le plus actifs socialement et professionnellement, de façon à éviter qu'interviennent des

facteurs tels la maturité, l'attention et l'acuité. À l'intérieur de chacun des groupes, nous avons recruté autant de sujets de sexe masculin que de sexe féminin; cette exigence s'avère particulièrement pertinente lors de l'examen des trapèzes vocaliques de chacun des sujets et de leur comparaison. Aussi, tous les sujets étaient des locuteurs natifs du français québécois et vivaient dans les régions montréalaise ou montréalaise. Par conséquent, les contrastes vocaliques étudiés faisaient partie du système phonologique de leur variété de français. Lors du recrutement, aucun sujet ne présentait, à sa connaissance, de troubles d'audition, du langage ou de troubles moteurs ou d'autres incapacités connus.

#### 4.2.1 Les sujets aveugles

Le recrutement des sujets aveugles a été plus ardu que celui des sujets voyants, étant donné la taille restreinte de la population aveugle québécoise et la sévérité de nos critères. Il aurait été intéressant de mener l'étude ici présentée auprès d'enfants aveugles afin d'envisager la question du rôle de la vision dans la production et la perception de la parole dans une perspective développementale, mais nous nous sommes heurtés à des difficultés de recrutement. Le recrutement d'adultes aveugles congénitaux ayant été fructueux, nous en décrivons le processus et nous dressons un bref portrait de la situation socio-démographique de la population adulte aveugle québécoise.

##### 4.2.1.1 Recrutement

Ce mémoire s'inscrivant dans le cadre du projet de recherche dirigé par Lucie Ménard intitulé «Le développement du contraste i/y en français : le rôle des indices visuels et auditifs» et ce dernier ayant été accepté par le comité d'éthique du Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR), nous avons pu procéder au recrutement des sujets aveugles par l'intermédiaire d'un centre de réadaptation pour personnes avec déficiences visuelles qui y est rattaché, l'Institut Nazareth et Louis-Braille (INLB), situé à Longueuil.

Les sujets ont été recrutés par voie électronique (liste de diffusion) et téléphonique (publiphone). 6 participants aveugles répondant à nos critères ont été retenus. Une compensation monétaire de 50\$ pour leur participation à chacune des séances de la cueillette

de données leur a été offerte. Lorsque les séances de tests impliquaient un déplacement de leur domicile au lieu du test, nous avons défrayé les frais de transport (titre de transport en commun ou taxi) afin de minimiser les inconvénients que pouvait représenter pour eux la participation à cette étude. Étant donné qu'ils ne lisaient pas tous parfaitement le braille, nous leur avons fait la lecture à voix haute du formulaire de consentement et répondu à toutes leurs questions avant d'obtenir leur consentement éclairé.

#### 4.2.1.2 Critères de recrutement

Le principal critère de recrutement était le caractère congénital de la cécité des participants, notre but étant de comparer la perception et la production de la parole d'individus ayant toujours eu accès aux indices visuels de la parole (sujets voyants) et celle d'individus n'ayant jamais eu d'expérience visuelle significative (sujets aveugles). En effet, dans l'étude de Gougoux et al. (2004) présentée à la section 3.1, les auteurs soulignent l'importance de l'âge d'apparition de la cécité : « Our finding that a large part of the variance (42%) could be accounted for by the age of blindness onset may explain why conflicting results are found when early- and late-blind subjects are pooled together » (Gougoux et al., 2004 : 309).

Aussi, il importait que les sujets aveugles recrutés présentent une cécité congénitale des deux yeux exclusivement de classes 3, 4 ou 5, telles que définies par la Classification internationale des maladies et des problèmes de santé connexes dixième révision (CIM-10) de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Cette classification, qui est décrite au tableau 4.1, montre bien que le maximum d'acuité visuelle que nos participants pouvait présenter à leur meilleur œil était de 1/20 (classes en italique) et c'est en ce sens que nous pouvons affirmer qu'ils n'ont jamais eu d'expérience visuelle significative des gestes articulatoires visibles d'autrui (mouvements des lèvres et de la mâchoire).



Tableau 4.1

Classification des atteintes de la vision selon leur gravité, définie dans la CIM-10 de l'OMS (1993). (Tiré de <http://www.geocities.com/Athens/Forum/3621/DefVisu.html>.)

Catégories de déficience possible	Acuité visuelle du meilleur oeil, avec la meilleure correction	
	Acuité visuelle maximale	Acuité visuelle égale ou supérieure
1	3/10	1/10
2	1/10	1/20
3	1/20	1/60
4	1/60	Perception de lumière
5	Pas de perception de lumière	
6	Indéterminée ou sans précision	

#### 4.2.1.3 Quelques données socio-démographiques

Au moment des tests et des enregistrements, les sujets aveugles étaient âgés entre 26 et 54 ans et la moyenne d'âge s'élevait à 42 ans. Le tableau 4.2 fait état de certaines de leurs caractéristiques sociodémographiques individuelles. Nous n'avons pu obtenir de renseignements officiels quant au degré d'atteinte de leur vision à la naissance, sauf pour le sujet CP, mais ils ont tous affirmé n'avoir jamais eu d'expérience visuelle significative. La cécité de tous les sujets sauf celle de CP est attribuable à une cause pathologique congénitale; l'atrophie optique de CP est quant à elle issue d'une cause accidentelle intra-utérine.

Tableau 4.2

Données sociodémographiques et cliniques des participants aveugles

Initiales des sujets	Sexe	Âge	Étiologie de la cécité	Vision à la naissance	Vision actuelle
DM	F	48	rétinite pigmentaire	N-D <sup>1</sup>	O.D. <sup>2</sup> = 3/210 O.G. <sup>3</sup> = 0
FB	F	40	cataracte congénitale	N-D	O.D. = 0 O.G. = 6/1260
SS	F	27	N-D	N-D	N-D
CP	M	54	atrophie optique	cécité complète	O.D. = 0 O.G. = 0
SN	M	40	décollement de la rétine et rétinite pigmentaire	N-D	O.D. = 2/180 O.G. = 2/105
YL	M	42	cataracte congénitale et glaucome congénital	N-D	N-D

<sup>1</sup> Non déterminé.

<sup>2</sup> Oeil droit.

<sup>3</sup> Oeil gauche.

Le niveau de scolarité des participants aveugles variait entre des études secondaires inachevées et des études universitaires de premier cycle complétées. Nous ne croyons pas que l'hétérogénéité des participants à cet égard ait pu entraîner des différences significatives dans les résultats observés, mais la section suivante permet tout de même d'en expliquer la présence.

#### 4.2.1.4 La population québécoise présentant une incapacité liée à la vision

Camirand et al. (2001) ont présenté les résultats d'une enquête menée en 1998 portant sur les adultes et les enfants présentant une incapacité liée à la vision. L'incapacité visuelle chez l'adulte y est définie comme consistant en « des difficultés à voir les caractères d'un journal, ou à voir clairement le visage de quelqu'un à quatre mètres d'elle, même avec des lunettes ou des verres de contact » (Camirand et al. 2001 : 1). Afin d'alléger le texte, nous utiliserons indifféremment les termes « cécité », « déficience visuelle » et « incapacité visuelle » pour caractériser la vue de nos participants. Si cette définition de l'incapacité visuelle outrepassait les critères des classes de cécité 3, 4 et 5 définis par l'OMS que nous avons adoptés dans le cadre de cette étude, c'est la seule qui puisse nous permettre de tracer un portrait quantitatif de la population québécoise déficiente visuelle et qui contribue à rendre compte de nos difficultés de recrutement.

« En 1998, la prévalence de l'incapacité liée à la vision au Québec [était] de 0,8% chez les enfants et de 1,8% chez les adultes, ce qui représente une population estimée (Pe) à 10 900 enfants et 107 500 adultes » (Camirand et al. 2001 : 1). Dans les tranches d'âge qui nous intéressent, soit chez les individus de 15-34 ans, 35-54 ans et 55-64 ans, la prévalence de l'incapacité liée à la vision était respectivement de 0,6%, 1,3% et 2,2%. À l'échelle de l'institution où nous avons procédé au recrutement des sujets, à l'INLB, mentionnons que 1594 usagers présentant une déficience visuelle ont eu recours aux programmes de réadaptation au cours de l'année 2001-2002; nous ne possédons toutefois pas de données quant à la proportion de cette population se trouvant dans l'intervalle d'âge exigé lors de notre recrutement et présentant une cécité de classes 3, 4 et 5. Nous pouvons par contre en déduire que la taille de cette population était petite, ce qui pourrait expliquer les difficultés que nous avons rencontrées à recruter des sujets dont les caractéristiques cliniques et socio-démographiques étaient homogènes et conformes à nos critères.

Le caractère congénital de la cécité et l'exigence que les participants ne présentent aucun trouble moteur constituent toutefois les critères ayant le plus réduit notre bassin de population aveugle lors du recrutement. D'une part, parmi la population québécoise âgée de 15 ans et plus présentant une incapacité reliée à la vision, seuls 5,6% d'entre eux ont vu cette incapacité apparaître avant l'âge d'un an. À cet égard, le rapport de Camirand et al. (2001) mentionne que les principales causes des incapacités visuelles sont les vices de réfraction ou de l'accommodation, les cataractes, les affections de la rétine, le glaucome, le strabisme et certaines maladies endocriniennes. D'autre part, cécité congénitale et troubles moteurs étant souvent associés, notre critère stipulant que les participants ne devaient pas présenter de troubles moteurs associés a également largement limité la population au sein de laquelle il nous était possible de tenter le recrutement.

En ce qui a trait aux caractéristiques socioéconomiques de la population déficiente visuelle, « les enquêtes précédentes (ESLA 1986 et 1991) de même que l'EQLA démontrent que les personnes ayant une incapacité ont généralement un profil socioéconomique défavorable par rapport au reste de la population sans incapacité, profil qui se traduit notamment par une scolarité moins élevée, des revenus plus faibles, une proportion de sans-emploi plus élevée et plus d'isolement » (Camirand et al. 2001 : 5). Dans la population québécoise vivant avec une incapacité reliée à la vision, cela se traduit par un taux de 75% des adultes dont le revenu personnel total est inférieur à 20 000\$, comparativement à un taux de 51% chez les personnes sans incapacité. Aussi, en ce qui a trait au niveau de scolarité, 24% des adultes de 15 à 64 ans ayant une incapacité visuelle ont moins de 9 ans de scolarité, comparativement à 9% des personnes sans incapacité. Un écart élevé sépare aussi la proportion de personnes sans incapacité et celle des personnes présentant une incapacité visuelle relativement au statut d'emploi; 58% des personnes présentant une incapacité visuelle étaient inactives sur le marché du travail en 1998, alors que le taux d'inactivité dans la population totale était de 28%. Ces données permettent d'expliquer l'hétérogénéité de nos sujets aveugles et voyants à l'égard de certaines variables socioéconomiques, mais nous ne croyons pas que ces caractéristiques revêtent un caractère linguistique pertinent à l'étude de la perception et de la production de la parole, alors il est peu probable que cette hétérogénéité interfère dans les données recueillies.

#### 4.2.2 Les sujets voyants

Le recrutement des sujets normo-voyants a été plus facile et leurs caractéristiques sociodémographiques sont alors davantage homogènes. Par normo-voyants, nous entendons des individus dont la vision des deux yeux est normale ou corrigée adéquatement à l'aide de lunettes et de verres de contact.

##### 4.2.2.1 Recrutement

Nous avons fait parvenir un courriel sur la liste de diffusion du personnel et des étudiants du Département de linguistique et de didactique des langues de l'Université du Québec à Montréal afin de constituer le groupe de participants normo-voyants. Les participants voyants ont reçu une compensation d'une valeur de 10\$ pour l'ensemble de leur participation à l'étude; la compensation moindre pour les sujets voyants que pour les sujets aveugles provient de la facilité à recruter des participants voyants comparativement à la tâche ardue qu'a représentée le recrutement de participants aveugles et la sollicitation pour la participation à d'autres études dont ces derniers font fréquemment l'objet.

##### 4.2.2.2 Données socio-démographiques

L'âge des sujets normo-voyants variait entre 25 et 36 ans (moyenne de 31 ans); le tableau 4.3 indique l'âge et le sexe de chacun d'eux. Mentionnons que leur niveau d'éducation scolaire variait entre des études universitaires de premier cycle en cours à des études universitaires de troisième cycle complétées.

Tableau 4.3  
Données sociodémographiques des participants normo-voyants

Initiales du sujet	Sexe	Âge
AMP	F	30
CR	F	25
RB	F	30
CD	H	38
FG	H	28
FM	H	36

### 4.3 Cueillette de données de perception

Les tests et enregistrements décrits dans les prochaines sections ont été effectués auprès de 12 participants et se sont déroulés de mai à décembre 2004. Le premier test qui a été administré à chacun des sujets est le test de perception d'identification de voyelles et il a été suivi du test de discrimination de voyelles. Ensuite ont eu lieu les enregistrements acoustiques de productions de voyelles isolées. Finalement, des enregistrements vidéo de données géométriques des mouvements des lèvres ont été effectués auprès de 2 sujets par groupe. Nous décrirons également chacune de ces étapes de la cueillette de données (voir tableau 4.4). Seront aussi présentés les corpus utilisés, le déroulement des séances et les instruments d'analyse.

Tableau 4.4  
Ordre des différentes étapes de la cueillette des données

Étapes de cueillette de données	Tests
1	Test de perception : identification de voyelles synthétisées
2	Test de perception : discrimination de voyelles synthétisées
3	Enregistrement de productions acoustiques
4	Enregistrements vidéo de données géométriques des lèvres

#### 4.3.1 Test d'identification de voyelles synthétisées

##### 4.3.1.1 Stimuli

Les stimuli qui ont été utilisés pour le test d'identification de voyelles sont les prototypes acoustiques français de [i y u e ø o ε œ ɔ a]. Ils ont été synthétisés à l'aide du modèle articulatoire VLAM à partir de l'interface GROWTH (voir figure 4.1). Ces prototypes sont tirés de Ménard (2002), qui a étudié la production et la perception des voyelles au cours de la croissance du conduit vocal dans une perspective de variabilité, d'invariance et de normalisation. Tous les stimuli avaient une fréquence d'échantillonnage de 22 050 Hz, un encodage 16 bits mono et une durée de 597 millisecondes.

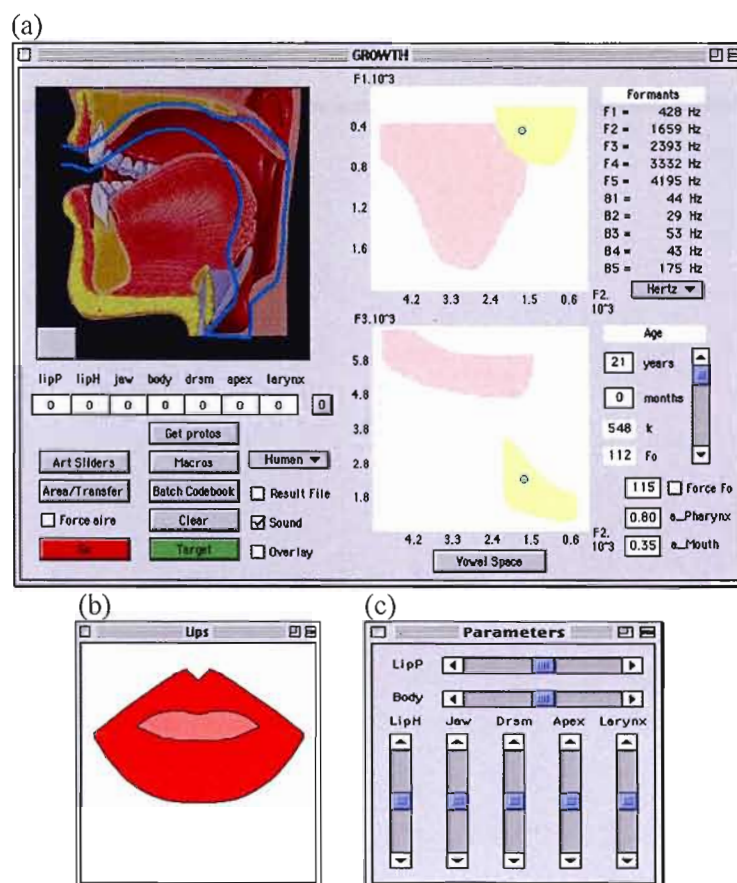


Figure 4.1 Fenêtre principale de l'interface GROWTH (en a), de configuration labiale (en b) et du contrôle des paramètres articulatoires (en c).

Ces prototypes acoustiques, dont les valeurs formantiques se trouvent en annexe A, modélisent 7 stades de croissance du conduit vocal (0, 2, 4, 8, 12, 16 et 21 ans) et les 7 fréquences fondamentales qui leur sont associées (450 Hz, 360 Hz, 300 Hz, 270 Hz, 240 Hz, 210 Hz et 110 Hz). La variété des paramètres utilisés a permis la synthèse d'un total de 490 voyelles acoustiquement différentes (10 voyelles \* 7 stades de croissance \* 7 fréquences fondamentales = 490 voyelles différentes), de façon à pouvoir dresser un portrait complet de l'organisation vocalique de nos sujets. Dans le but de les familiariser à l'écoute et à l'identification de voyelles synthétisées (sujets voyants et aveugles) et à l'interface Praat (sujets voyants), nous avons d'abord soumis les sujets à une phase d'entraînement comportant 20 stimuli. Ces stimuli ont également été synthétisés à l'aide de Growth, mais étaient différents de ceux présentés lors du test. La figure 4.2 présente la position relative dans l'espace vocalique maximal, des stimuli pour un conduit vocal de 21 ans dans le plan F1



versus F2 et F2 versus F3 (en Hertz); le même canevas a été employé pour les 6 autres tailles de conduits vocaux.

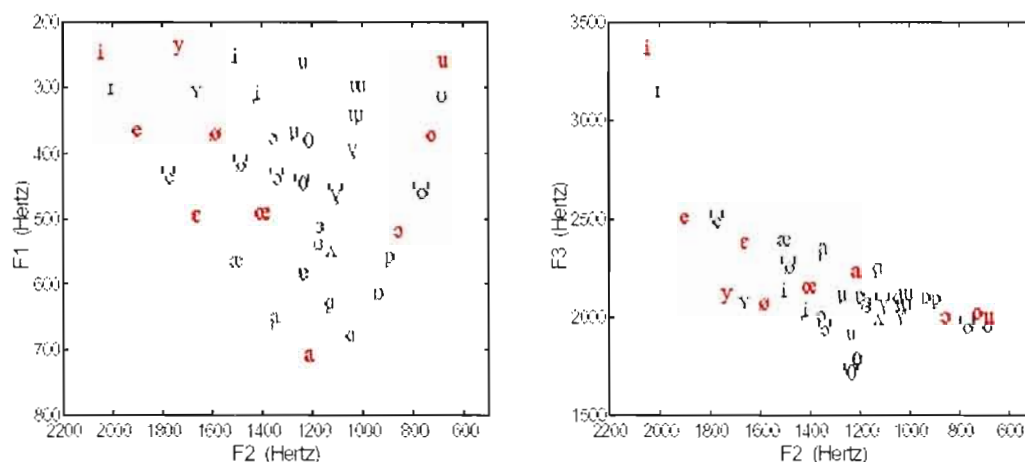


Figure 4.2 Représentations des prototypes, dans les plans F1 versus F2 et F2 versus F3 des 38 voyelles d'UPSID dans un conduit vocal de 21 ans. (Tirée de Ménard, 2002 : 115.)

#### 4.3.1.2 Montage et passation du test

Afin d'obtenir une mesure de la validité des percepts fournis par les sujets, 2 occurrences de chacun des stimuli leur ont été présentées, ce qui porte à 980 le nombre de stimuli compris dans ce test d'identification ( $490 \text{ voyelles} \times 2 \text{ occurrences} = 980 \text{ stimuli}$ ). Afin de contrer les effets de fatigue qu'aurait pu occasionner la longue durée d'un test contenant 980 stimuli à identifier, ils ont été répartis en 2 tests distincts; l'un contenant les stimuli dont les valeurs de fréquences fondamentales étaient de 110 Hz, 240 Hz, 300 Hz et 450 Hz ( $280 \text{ voyelles} \times 2 \text{ répétitions} = 560 \text{ stimuli}$ ) et l'autre contenant les stimuli dont les valeurs de fréquences fondamentales étaient de 210 Hz, 270 Hz et 360 Hz ( $210 \text{ voyelles} \times 2 \text{ répétitions} = 420 \text{ stimuli}$ ). Au préalable, les sujets ont été à même de se familiariser avec l'écoute de voyelles synthétisées grâce à une phase d'entraînement constituée de 20 stimuli synthétisés dont les paramètres de tailles de conduit vocal étaient différents de ceux des stimuli du test (tailles de 6, 8, 12 et 14 ans). Le tableau 4.5 résume les caractéristiques des stimuli présentés au cours des différentes parties du test d'identification.

Tableau 4.5  
Description des différentes parties du test d'identification

Partie	Caractéristiques	Nombre de stimuli
Phase d'entraînement	Tailles du conduit vocal = 6, 8, 12, 14 ans	20
Partie 1	Valeurs de F0 = 110, 240, 300, 450 Hz	560
Partie 2	Valeurs de F0 = 210, 270, 360 Hz	420

Le test de perception a été créé à l'aide du logiciel Praat; un script Praat permettait de faire succéder les stimuli en ordre aléatoire au fur et à mesure que le sujet fournissait ses réponses. Chacune des deux parties des tests a eu lieu dans une pièce silencieuse, sur un ordinateur portable IBM ThinkPad T41 avec une carte de son SoundMax Integrated Digital Audio en présence exclusive du sujet et de l'expérimentatrice. La tâche des sujets voyants, qui leur était expliquée oralement, était d'écouter les stimuli présentés en ordre aléatoire et à un volume confortable à l'aide d'un casque d'écoute Audio-Technica ATH-M20 et de les identifier en appuyant sur la touche appropriée du choix de réponses proposé sur un interface Praat tel celui de la figure 4.3.

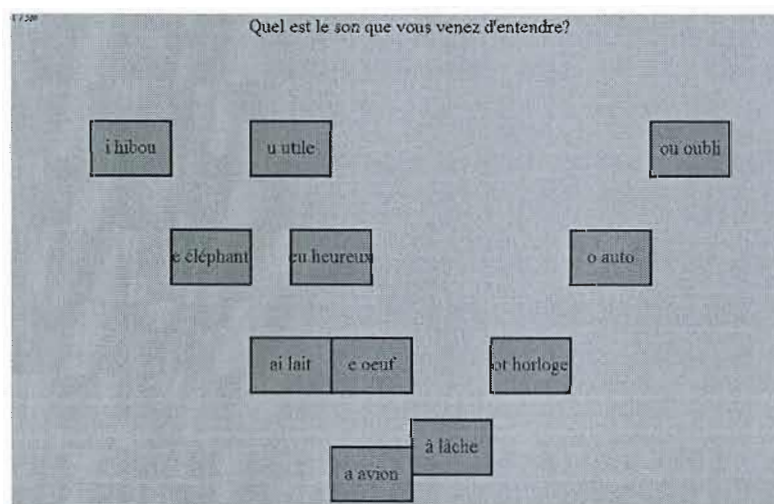


Figure 4.3 Interface Praat du test de perception utilisée par les participants voyants et l'expérimentatrice avec les participants aveugles.

La tâche d'identification était la même pour les sujets aveugles, mais ce mode de réponse étant visuel, c'est plutôt l'expérimentatrice qui appuyait sur la réponse donnée verbalement par les sujets. Ces derniers avaient préalablement été entraînés à fournir leurs réponses d'identification à l'aide des phrases porteuses suivantes :



- /i/ comme *hibou*
- /y/ comme *utile*
- /u/ comme *oubli*
- /e/ comme *éléphant*
- /ø/ comme *heureux*
- /o/ comme *auto*
- /ɛ/ comme *lait*
- /œ/ comme *œuf*
- /ɔ/ comme *horloge*
- /a/ comme *avion*
- /ɑ/ comme *chat*

#### 4.3.1.3 Manipulation des percepts recueillis

À la fin de chacune des parties du test, le logiciel Praat permettait de créer un fichier texte dans lequel étaient associés, dans l'ordre dans lequel les stimuli avaient été présentés, les percepts fournis par les sujets aux noms des stimuli présentés. Après avoir généré un tel fichier pour les deux parties du test de perception pour chacun des sujets, dans un fichier distinct, nous avons associé ces percepts et ces noms de stimuli à leurs valeurs formantiques en Hertz et en Bark respectives. Nous verrons au cours des prochaines sections que cette organisation des percepts a servi au calcul de mesures de validité, au tracé des représentations graphiques dans l'espace acoustique et aux calculs de frontières catégorielles.

#### 4.3.1.4 Mesures de validité des percepts

Tel que mentionné précédemment, 2 occurrences de chacun des stimuli ont été présentées lors du test de perception afin d'obtenir une mesure de la validité des percepts fournis. C'est ainsi que par *percepts cohérents*, nous entendons une même réponse donnée à chacune des 2 répétitions d'un stimulus. Afin de déterminer le taux de cohérence pour chacun des traits étudiés (aperture, lieu d'articulation, arrondissement), les percepts ont d'abord été étiquetés en ces termes. Pour le trait d'aperture, les percepts ont reçu les étiquettes « F » (fermé), « MF » (mi-fermé), « MO » (mi-ouvert) et « O » (ouvert) et les étiquettes « ANT » (antérieur) et « POST » (postérieur) pour le lieu d'articulation. Pour le trait d'arrondissement, notre intérêt ne portant ici que sur les voyelles antérieures, seuls les percepts préalablement identifiés « ANT » (antérieur) ont reçu les étiquettes « A » (arrondi) ou « NA » (non arrondi).

Au tableau 4.6 sont mentionnées les étiquettes apposées à chacun des percepts pour chacune des catégories vocaliques.

Tableau 4.6  
Étiquettes de traits vocaliques apposées aux percepts

Percepts	Étiquettes		
	Aperture	Lieu	Arrondissement
[i]	F	ANT	NA
[y]	F	ANT	A
[u]	F	POST	A
[e]	MF	ANT	NA
[ø]	MF	ANT	A
[o]	MF	POST	A
[ɛ]	MO	ANT	NA
[œ]	MO	ANT	A
[ɔ]	MO	POST	A
[a]	O	ANT	NA
[ɑ]	O	POST	NA

En nous appuyant sur cette définition de percepts cohérents mentionnée ci haut, le *taux de cohérence* a pu être établi pour chacun des traits étudiés; il correspond au quotient du nombre de paires de percepts cohérents sur l'ensemble des paires de stimuli présentés.

$$\text{taux de cohérence} = \frac{\text{nombre de percepts cohérents}}{\text{nombre total de paires de stimuli}} * 100$$

Pour les traits d'aperture et de lieu d'articulation, ce quotient a été calculé sur 490, puisque c'est le nombre total de paires de stimuli qui a été présenté aux participants. Le taux de cohérence du trait d'arrondissement a toutefois été calculé sur un nombre de paires de stimuli propre à chacun des sujets puisqu'il était basé sur le nombre de paires de percepts ANT. Pour chacun des sujets, 4 taux de cohérence ont donc été calculés :

- le taux de cohérence globale
- le taux de cohérence d'aperture
- le taux de cohérence de lieu d'articulation
- le taux de cohérence d'arrondissement

Le taux de cohérence globale était basé sur l'identification phonémique de tous les stimuli entendus et était alors nécessairement celui qui est le moins élevé.

#### 4.3.1.5 Paramètres normalisateurs

Si le recours à l'échelle des Bark permet de mieux rendre compte du traitement psychoacoustique des fréquences dans l'oreille (revoir section 1.1.2), elle n'explique pas à elle seule toute la complexité de la perception de la parole et du phénomène d'invariance. L'invariance consiste en la perception de catégories phonétiques distinctes malgré la variabilité interindividuelle et le recoupement spectral des produits acoustiques des sons de parole en présence. Dans le cadre de cette étude, nous avons adopté les paramètres normalisateurs d'aperture, de lieu d'articulation et d'arrondissement proposés par Ménard et al. (2002). En effet, leur travail a consisté en l'exploration des paramètres invariants impliqués dans la normalisation perceptuelle des voyelles orales du français par le biais de l'analyse de tests de perception effectués avec des voyelles orales du français synthétisées (ce sont d'ailleurs précisément ces voyelles que nous avons utilisées pour notre test d'identification de voyelles). Les paramètres normalisateurs qui ont obtenu les meilleurs taux de classification sont les suivants :

Pour la hauteur (aperture) : F1-F0

- Voyelles hautes (fermées) [i y u] :  $x \leq 2$  Bark
- Voyelle mi-hautes (mi-fermées) [e ø o] :  $4 \text{ Bark} > x > 2 \text{ Bark}$
- Voyelles basses (mi-ouvertes et ouvertes) [ɛ œ ɔ a] :  $x \geq 4$  Bark

Pour le lieu d'articulation ( antéro-postériorité) : F2-F1

- Antérieures [i e ɛ y ø œ] :  $x > 5,5$  Bark
- Postérieures [u o ɔ] :  $x < 5,5$  Bark

Pour l'arrondissement antérieur : F2'

- Arrondies [y ø œ] :  $x \leq 15$  Bark
- Non arrondies [i e ɛ] :  $x > 15$  Bark

Mentionnons que F2', qui sera notre paramètre normalisateur de l'arrondissement, constitue un second formant effectif décrivant de façon non linéaire l'effet combiné de F2 et des formants supérieurs. La figure 4.4 présente l'algorithme de calcul de ce second formant effectif de Mantakas (1989).

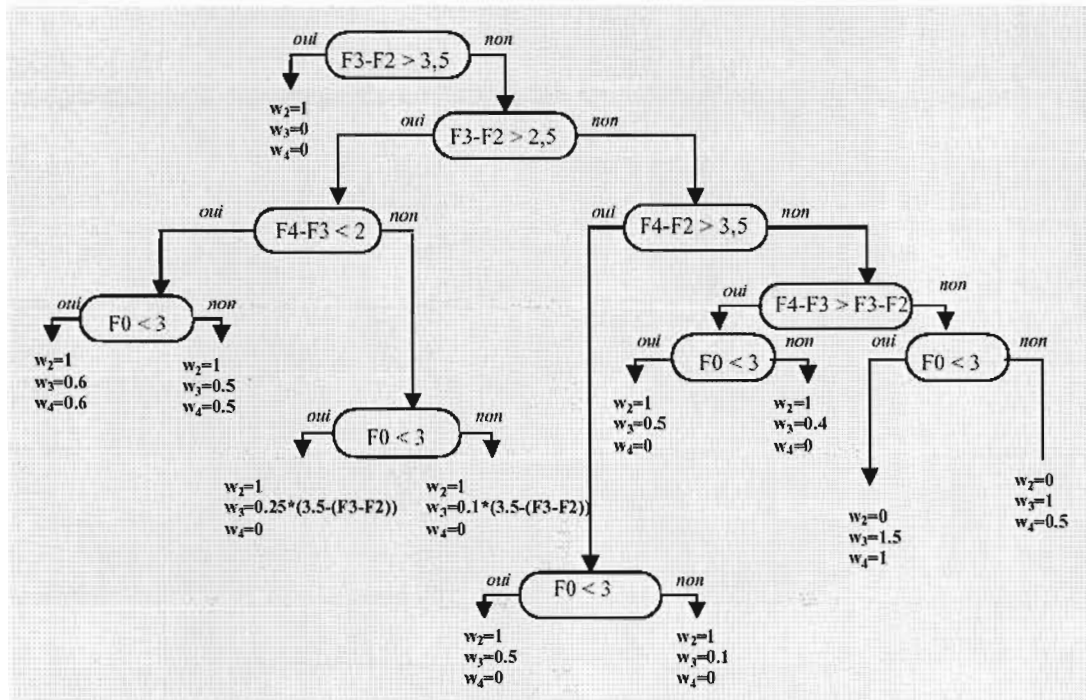


Figure 4.4 Algorithme de calcul du second formant effectif. (Tirée de Mantakas, 1989. Modifiée par Ménard, 2002 : 203.)

#### 4.3.1.7 Méthode Probit

Afin de mesurer la frontière catégorielle associée à la perception de chacun des contrastes des trois traits vocaliques étudiés, nous avons utilisé la méthode Probit, qui permet de tenir compte de variables indépendantes catégoriques (trait perçu) et continues (valeurs des paramètres normalisateurs) pour mesurer une variable dépendante catégorique (frontière d'identification). Pour ce faire, nous avons repris le fichier contenant tous les percepts cohérents associés à leurs valeurs formantiques en Hertz et en Bark et à leurs étiquettes F, MF, MO, O, ANT, POST, A et NA définies lors des mesures de validité (voir section 4.3.1). Les oppositions de traits présentées au tableau 4.7 ont été étudiées en vertu des valeurs des paramètres normalisateurs s'y rattachant.

Tableau 4.7  
Oppositions de contrastes étudiés

Aperture F1-F0		
F	vs	MF, MO, O
F, MF	vs	MO, O
O	vs	F, MF, MO
Lieu d'articulation F2-F1		
ANT	vs	POST
Arrondissement F2'		
A	vs	NA

Pour chacun des calculs de frontière d'identification, à partir de l'étendue des valeurs du paramètre normalisateur concerné, des intervalles réguliers ont été créés et pour chacun d'eux, les taux d'identification du trait à l'étude ont été calculés. Ce sont ces taux d'identification qui sont rapportés dans les graphiques de courbes Probit du type de celui de la figure 4.5. Ces derniers ont donc été tracés à l'aide d'un programme MatLab<sup>3</sup> utilisant un fichier de données où devaient être mentionnés :

- les scores par intervalle
- la moyenne des valeurs du paramètre normalisateur de chaque intervalle
- le nombre de percepts total par intervalle
- le rang des intervalles dont la valeur du quotient du score par intervalle et du nombre de percepts contenus dans cet intervalle était compris entre 0,05 et 0,95

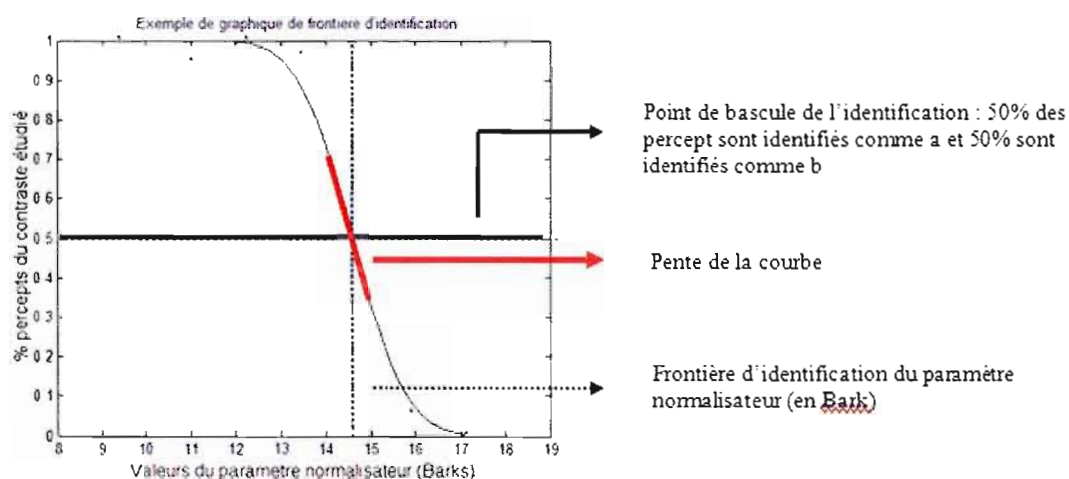


Figure 4.5 Exemple de graphique de frontière d'identification.

<sup>3</sup> Le programme utilisé a été implémenté sous MatLab par Raphaël Laboissière, chercheur à l'Institut de la Communication Parlée (ICP, Grenoble), maintenant au Max Planck Institute (Münich).

En abscisses, se trouvent les valeurs en Bark du paramètre normalisateur et en ordonnées, se trouve le pourcentage d'identification du contraste étudié. La frontière catégorielle se trouve donc à 50% d'identification. La pente de cette courbe nous renseigne sur la précision de la perception du contraste; plus la pente est grande (en valeur absolue), plus la perception de l'auditeur est catégorielle, c'est-à-dire que de petites différences au niveau acoustique induisent de grandes différences au niveau perceptif (Nittrouer, 1992; Mayo et al. 2003).

Finalement, pour chacun des graphiques de frontière catégorielle tracée, le programme MatLab a fourni un fichier texte en sortie où étaient mentionnées la frontière d'identification et la pente de la courbe qui lui était associée.

#### 4.3.1.8 Ellipses de dispersion

À partir des fichiers de données contenant les percepts associés à leurs valeurs formantiques en Hertz et en Bark et aux valeurs des paramètres normalisateurs F1-F0, F2-F1 et F2' (en Bark), nous avons utilisé un autre programme MatLab permettant de tracer des ellipses de dispersion des voyelles perçues. Ces ellipses ont été tracées à  $\pm 1,5$  écart-type de la moyenne de la catégorie perçue. Ainsi, pour chacun des sujets, nous avons tracé deux graphiques, dont la définition des axes se trouve au tableau 4.8, de même que les lignes de frontières d'identification déterminées précédemment grâce à la méthode Probit.

Tableau 4.8  
Définition des axes des graphiques et des frontières d'identification tracées

Axes		Frontières tracées	Traits étudiés
x	y		
F2'	F1-F0	F2'	arrondissement
F2-F1	F1-F0	F2-F1 et F1-f0	lieu d'articulation et aperture

#### 4.3.2 Test de discrimination AXB de voyelles synthétisées

##### 4.3.2.1 Stimuli

Pour le test de discrimination de voyelles de type AXB, nous avons créé 3 continua de voyelles, chacun d'eux impliquant respectivement une opposition relative au trait d'aperture, de lieu d'articulation et d'arrondissement. À partir de la valeur prototypique de [i] pour un

homme de 21 ans, nous avons créé 10 stimuli où covariaient les valeurs de F1, F2, et de F3, respectivement de +0,22 Bark, -0,08 Bark et -0,34 Bark jusqu'à atteindre la valeur prototypique de [e], constituant alors un continuum de 7 voyelles s'opposant graduellement sur la base du trait d'aperture. À partir de la valeur prototypique de [i], nous avons fait covarier F2 et F3 par pas de -0,18 Bark et de -0,52 Bark jusqu'à atteindre la valeur prototypique de [y], créant un continuum de 7 voyelles s'opposant graduellement sur la base du trait d'arrondissement. Finalement, en partant de la valeur prototypique de [y], nous avons fait varier la valeur de F2 par pas de -0,26 Bark et obtenu un continuum de 22 voyelles s'opposant graduellement sur le lieu d'articulation. Ces stimuli ont été synthétisés à l'aide du modèle articulatoire VLAM et avaient tous une durée de 597 millisecondes, un encodage mono 16 bits et une fréquence d'échantillonnage de 22 050 Hz. Les valeurs formantiques de ces stimuli se trouvent en annexe B.

Le principe d'un test de discrimination AXB est la présentation successive de 3 voyelles. La première voyelle correspond à A, la seconde à X, et la troisième à B. La voyelle X constitue la cible et cette dernière est précédée ou suivie d'une voyelle identique, qui est la réponse de discrimination à fournir (A ou B), et d'une voyelle différente, mais adjacente dans le continuum donné (A ou B). Ainsi, pour chaque paire de voyelles adjacentes (appelons-les 1 et 2), nous avons les 4 triplets suivants :  $A_1-A_1-B_2$ ,  $B_2-A_1-A_1$ ,  $A_2-A_2-B_1$ ,  $B_2-B_2-A_1$ . De plus, 3 répétitions de chaque triplet étaient présentées afin d'obtenir une mesure de validité. Pour le continuum de [i] à [e], cela a donné lieu à 72 stimuli (6 paires de voyelles adjacentes \* 4 triplets \* 3 répétitions = 72 stimuli). Pour le continuum de [i] à [y], cela a également donné lieu à 72 stimuli. Finalement, pour le continuum de [y] à [u], cela a donné lieu à 252 stimuli (21 paires de voyelles adjacentes \* 4 triplets \* 3 répétitions = 252 stimuli).

#### 4.3.2.2 Montage et passation des tests

Ce test a eu lieu dans une pièce silencieuse où seule l'expérimentatrice et le sujet étaient présents. Les sujets portaient le même casque d'écoute que pour le test d'identification de voyelle et le même ordinateur portable a été employé. Un script Praat permettait de faire entendre en ordre aléatoire les triplets de voyelles; un silence de 500 ms séparait l'émission de chacune des voyelles du triplet. La tâche des sujets voyants était d'écouter attentivement les triplets de voyelles et d'appuyer sur le bouton A ou le bouton B de l'interface Praat (voir



figure 4.6) selon que c'était la voyelle A ou B qui était identique à X. Les sujets aveugles n'ayant pas accès à ce mode de réponse visuel, répondaient verbalement A ou B et c'était l'expérimentatrice qui appuyait sur la touche appropriée. Il est à noter qu'une phase d'entraînement de 11 triplets de stimuli avait préalablement permis aux sujets de se familiariser avec la tâche.

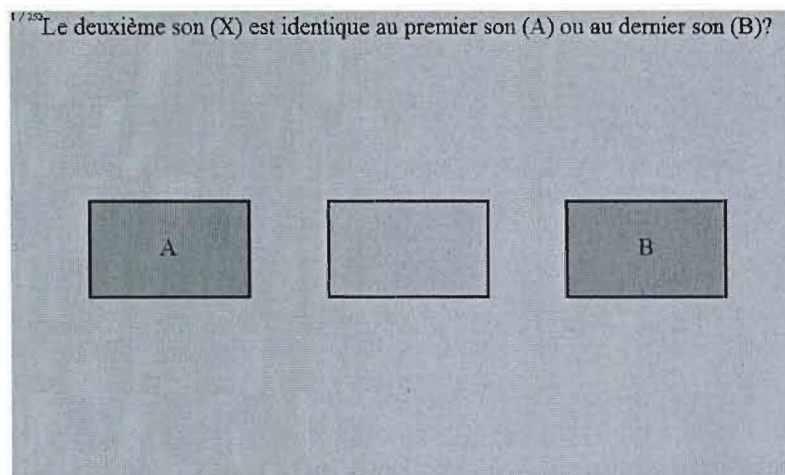


Figure 4.6 Interface Praat du test de discrimination.

#### 4.3.2.3 Manipulation des percepts recueillis

Pour chaque réponse fournie par le participant, la valeur « réussite » (1) ou « échec » (0) a été attribuée. Une réponse « réussite » était obtenue si le sujet avait correctement identifié la voyelle X comme étant A ou B. Le pourcentage de réussites obtenues pour chaque sujet a été comptabilisé, pour chaque continuum (aperture de [i] à [e], arrondissement de [i] à [y] et lieu d'articulation de [y] à [u]).

#### 4.3.2.4 Pics de discrimination

Pour chacun des continua et pour chacun des participants, le pic de discrimination a été identifié. Le pic de discrimination consiste en la valeur maximale du pourcentage de réussite d'identification des paires de voyelles identiques.



#### 4.4 Cueillette de données de production

Les enregistrements acoustiques de productions vocaliques de chacun des sujets voyants et aveugles et l'analyse acoustique qui a été appliquée sur les voyelles produites en position tenue isolée nous permettent de répondre à notre objectif de description des trapèzes vocaliques des participants. C'est également sur le tracé de ces trapèzes vocaliques que s'appuie notre exploration des liens unissant production et perception de la parole. Si seule une partie des enregistrements présentés est analysée dans le présent mémoire, leur totalité constitue une riche banque de données acoustiques qui pourront être analysées ultérieurement. Le protocole expérimental employé lors des enregistrements géométriques des lèvres est également présenté afin de répondre à notre objectif de comparaison des stratégies articulatoires de nos participants. Les corpus utilisés, les conditions d'enregistrement, les appareils utilisés et les outils d'analyses proposés sont explicités au cours du présent chapitre.

##### 4.4.1 Enregistrements acoustiques de production de voyelles tenues isolées

###### 4.4.1.1 Corpus

Le corpus d'enregistrement acoustique de voyelles était constitué de 11 phrases incluant d'abord l'énonciation de la voyelle orale cible tenue isolée<sup>4</sup> suivie d'un mot à initiale vocalique présentant la voyelle cible en contexte phonologique. En fait, ces 11 phrases porteuses étaient les mêmes phrases que celles utilisées en guise de réponse dans le test d'identification de voyelles; les sujets étant déjà familiers avec ces phrases, si bien que la phase d'entraînement a pu être écourtée pour la plupart d'entre eux. Nous rappelons les phrases et les séquences cibles du corpus au tableau 4.9.

---

<sup>4</sup> La production de voyelles tenues isolées garantit une stabilité spectrale au centre de la voyelle, exempte de toute influence consonantique issue de la coarticulation. Dans de telles conditions de production, l'analyse acoustique peut alors être effectuée de façon automatique au centre temporel de la voyelle.

Tableau 4.9  
Corpus d'enregistrements acoustiques

Phrases porteuses	Séquences cibles
« i » comme hibou	[i]
« u » comme utile	[y]
« ou » comme oubli	[u]
« é » comme éléphant	[e]
« eu » comme heureux	[ø]
« o » comme auto	[o]
« ai » comme lait	[ɛ]
« e » comme oeuf	[œ]
« ot » comme horloge	[ɔ]
« a » comme avion	[a]
« â » comme chat	[ɑ]

#### 4.4.1.2 Conditions expérimentales

Afin d'évaluer le rôle de la rétroaction auditive dans la production des voyelles à l'étude et de vérifier la stabilité des représentations articulatoire-acoustiques internes des deux groupes de sujets, nous avons manipulé la quantité de rétroaction auditive à laquelle les sujets avaient accès. Tous les enregistrements ont eu lieu dans une pièce silencieuse où seuls le sujet et l'expérimentatrice étaient présents. Dans un premier temps, dans la condition que nous appellerons désormais *normale* ou *sans bruit*, les sujets devaient effectuer 5 répétitions des 11 phrases du corpus. La consigne qui leur était donnée était de les prononcer de façon naturelle, en allongeant légèrement la première voyelle et en conservant un débit, une intensité et une intonation relativement constants. Les sujets voyants lisaient les phrases du corpus écrites sur une feuille prévue à cet effet en faisant une courte pause entre chacune d'entre elles. Les sujets aveugles n'ayant pas accès à la lecture, ils étaient alors tenus de répéter les phrases du corpus préalablement dites par l'expérimentatrice. Mentionnons que cette dernière s'assurait que ses propres répétitions et celles des sujets conservaient une intonation, une intensité et un débit constants.

Dans un deuxième temps, dans la condition que nous appellerons *avec bruit*, les sujets portaient un casque d'écoute Audio-Technica ATH-M20 qui, par l'intermédiaire d'un ordinateur portable IBM ThinkPad T41 avec une carte de son SoundMax Integrated Digital Audio, leur faisait entendre du bruit blanc gaussien préalablement généré avec le logiciel

Praat. L'intensité du bruit blanc était ajustée à la valeur maximale tolérable propre à chaque participant. Tous les sujets sauf AMP, FM et SN ont accepté d'être soumis au volume maximal de l'ordinateur, mais il ne nous est pas possible de fournir de valeurs numériques d'intensité pour aucun d'entre eux. Si le bruit réduisait considérablement la quantité et la qualité de la rétroaction auditive, la conduction osseuse ne pouvait quant à elle pas être empêchée. Simultanément à l'écoute de ce bruit blanc, les sujets devaient à nouveau répéter 5 fois les 11 phrases du corpus, en tentant toujours de garder un débit, une intensité et une intonation relativement constants et normaux. De cette façon, nous ne souhaitons pas observer des phénomènes reliés à l'effet Lombard, mais plutôt observer les stratégies articulatoire-acoustiques des sujets en l'absence de rétroaction auditive référentielle. 5 répétitions sans bruit ont par la suite été effectuées, puis 5 avec bruit, pour un total de 10 répétitions sans bruit et 10 répétitions avec bruit. L'ordre dans lequel les enregistrements ont été effectués est rappelé au tableau 4.10. Cette méthode a été utilisée dans plusieurs études afin d'étudier le rôle de la rétroaction auditive notamment dans l'étude des compensations aux perturbations artificielles (Perkell et al., 2003; Lane et al., 2004).

Tableau 4.10  
Déroulement des enregistrements acoustiques

Étapes de l'enregistrement	Conditions expérimentales	Nombre de répétitions des 11 phrases du corpus
1	Sans bruit	5
2	Avec bruit	5
3	Sans bruit	5
4	Avec bruit	5

#### 4.4.1.3 Enregistrement du signal acoustique

Le signal a été acquis à l'aide d'un micro à condensateur pour la voix Shure SM86 et numérisé à l'aide d'un Digital Audio Tape Recorder (DAT) Tascam DA-P1 à un taux d'échantillonnage de 44 100 Hz sur des cassettes Mini-DV Maxwell Professional Audio Pro DAT125. La position du micro affectant de façon directe l'intensité du signal, il a été fixé sur un pied de micro situé à une trentaine de centimètres de la bouche du locuteur. L'enregistrement acoustique de chaque locuteur voyant a duré environ 15 minutes, alors que celui des locuteurs aveugles a duré environ 30 minutes, les enregistrements des participants aveugles comprenant l'énonciation des phrases par l'expérimentatrice et les répétitions des

sujets aveugles. Par la suite, le signal a été numérisé en branchant le DAT à la carte de son Audiophile USB d'un autre ordinateur; le logiciel Goldwave v5.06 a permis d'acquérir le signal acoustique mono en format .wav à un taux d'échantillonnage de 44 100 Hz et à encodage 16 bits.

#### 4.4.1.4 Manipulations préalables du signal acoustique

Notre étude ne reposant que sur l'analyse de la première voyelle de chaque phrase et désirant en faire l'analyse acoustique de façon essentiellement automatique, il nous a d'abord fallu procéder à quelques manipulations préalables du signal acoustique. Dans un premier temps, à l'aide du logiciel Praat, nous avons créé un fichier .wav par phrase énoncée, ce qui a donné lieu à la création de 220 fichiers par sujets (11 phrases \* 10 répétitions \* 2 conditions expérimentales = 220 fichiers). Ensuite, un script Praat a permis d'extraire la voyelle à l'étude de chacun des fichiers .wav en utilisant les bornes temporelles inférieure et supérieure de la voyelle à l'étude spécifiée dans les fichiers .Textgrid préalablement créés avec le logiciel Praat, donnant alors lieu à 220 fichiers .wav par sujet, chaque fichier ne comportant qu'une voyelle.

L'analyse acoustique automatique que nous nous proposons de faire nécessitant que la fréquence d'échantillonnage soit de 22 050 Hz, nous avons abaissé la fréquence d'échantillonnage de façon automatique (« batch processing ») de nos 2640 fichiers .wav (220 fichiers par sujets \* 12 sujets = 2640 fichiers) à l'aide du logiciel Goldwave.

#### 4.4.1.5 Analyse acoustique

Nous avons utilisé une analyse acoustique LPC (Linear Predictive Coding) de type *to burg*. L'analyse LPC sert à extraire les formants; elle permet de faire la modélisation de voyelles périodiques pour lesquelles le résonateur du conduit vocal ne fait pas intervenir de valeurs nulles, tel que c'est parfois le cas avec les voyelles nasales. Elle nécessite des enregistrements acoustiques de très bonne qualité car elle est très sensible au bruit. Dans ce type d'analyse, il faut spécifier le nombre de pôles du filtre; ce nombre varie selon la fréquence d'échantillonnage, le sexe et l'âge du locuteur.

Dans le script Praat de l'analyse LPC utilisé, nous devons préciser l'intervalle plausible de fréquences fondamentales en Hertz (« to pitch »), d'intensité en décibels (« to intensity »), et le nombre de formants dont nous voulions extraire les valeurs. Il est à noter que l'analyse acoustique était effectuée au milieu de la durée de la voyelle ( $t/2$ ), en supposant que c'est à cet endroit que nous étions le plus susceptible de trouver un plateau stable de fréquences et la masse d'énergie la plus importante. Nous devons également spécifier la valeur du paramètre *predic*, qui correspond au nombre de coefficients linéaires de prédiction, aussi appelés pôles. Afin d'obtenir une analyse automatique la plus précise possible, pour chaque voyelle de chaque sujet, nous avons appliqué le script Praat en faisant varier la valeur du *predic* jusqu'à ce que la comparaison de quelques valeurs contenues dans le fichier de sortie de Praat à la mesure manuelle des formants dans Praat soit satisfaisante. Par la suite, un examen attentif des valeurs formantiques extraites nous a permis d'identifier les valeurs aberrantes qui résultaient probablement de problèmes de détection de formants lors de l'analyse automatique. Dans de tels cas, si la mauvaise détection ne provenait pas de problèmes au niveau de l'enregistrement ou de l'énonciation du locuteur (voir section 4.4.1.6), nous avons procédé à l'analyse acoustique de la voyelle manuelle à l'aide du logiciel Praat en ajustant de façon appropriée les paramètres du spectrogramme (« spectrogram settings ») et des formants (« formant settings ») et nous avons extrait les valeurs formantiques au moyen de la fonction « Formant listing » ou en cliquant sur le formant identifié visuellement sur le spectrogramme.

C'est ainsi que nous avons pu obtenir la valeur de la fréquence fondamentale (en Hertz), des 4 premiers formants (en Hertz), de la durée des voyelles (en millisecondes), de l'intensité (en décibels) et du RMS (« root-mean-square », mesure de pression du son en Pascal). Ce sont ces valeurs formantiques qui ont été utilisées pour tracer les trapèzes vocaliques dont nous parlerons au cours de la section 4.4.1.7.

#### 4.4.1.6 Cas de figures de problèmes rencontrés lors de l'analyse acoustique

Tel que mentionné précédemment, bien que la majeure partie de l'analyse acoustique a pu être effectuée de façon automatique par le script Praat d'analyse LPC, plusieurs voyelles ont tout de même dû être analysées manuellement. En effet, comme les enregistrements n'ont pas pu être réalisés en chambre sourde, des bruits ambiants de basse fréquence causés par la

ventilation et par le bruit blanc s'échappant du casque d'écoute des locuteurs dans la condition avec bruit, de même que certaines caractéristiques intrinsèques à la voix des locuteurs ont pu gêner l'analyse acoustique.

La figure 4.7 présente la production de la voyelle [a] par le locuteur SN en condition avec bruit. Nous voyons sur l'onde sonore du haut que lors de la production de cette voyelle, ce locuteur n'a pas respecté la consigne de conservation de l'intensité. Une trop forte intensité a entraîné une saturation du signal et peut alors avoir affecté la qualité du spectrogramme et par conséquent, de l'analyse acoustique.

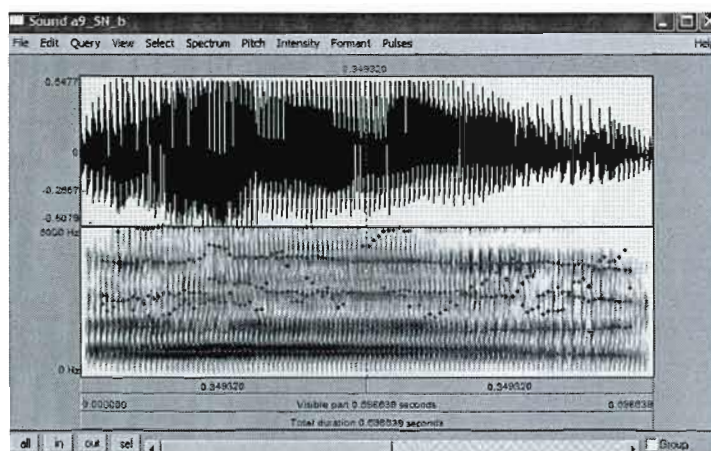


Figure 4.7 Spectrogramme de la production de [a] par le locuteur aveugle SN en condition avec bruit; indicateur de saturation du signal.

La figure 4.8 présente quant à elle le spectrogramme de la voyelle [o] produite par la locutrice DM en condition avec bruit. La voyelle [o] présente intrinsèquement des formants F1 et F2 très rapprochés; or, il se trouve que cette position rapprochée des deux premiers formants est parfois difficilement repérable par un algorithme automatique et ce, même si la qualité du signal est bonne. Dans certains cas où les formants trop près les uns des autres n'étaient identifiés comme distincts par le script LPC, nous avons recouru à une mesure manuelle des formants concernés. Mentionnons également que le spectrogramme de cette production [o] ressemble vraiment à une production de [u].



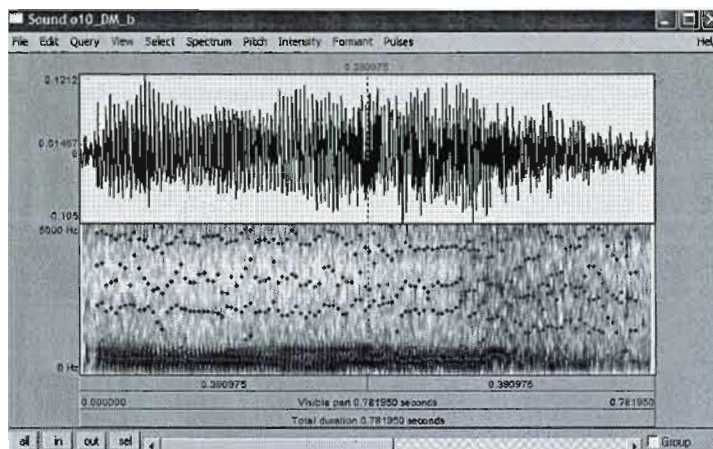


Figure 4.8 Spectrogramme de la production de [o] par la locutrice aveugle DM en condition avec bruit; indicateur de mauvaise détection de formants trop rapprochés (F1 et F2).

À la figure 4.9, nous voyons le spectrogramme de la voyelle [u] produite par le locuteur CP en condition sans bruit. Tel que mentionné précédemment, l'analyse LPC *to burg* était appliquée au milieu temporel de la voyelle. Par contre, pour certaines productions vocaliques, ce milieu temporel ne correspondait pas à un plateau spectral ou à la concentration la plus forte d'énergie et peut avoir induit des erreurs dans l'analyse acoustique. Dans de tels cas, nous avons également dû procéder à un repérage manuel des valeurs formantiques ou changer notre point de mesure de la voyelle.

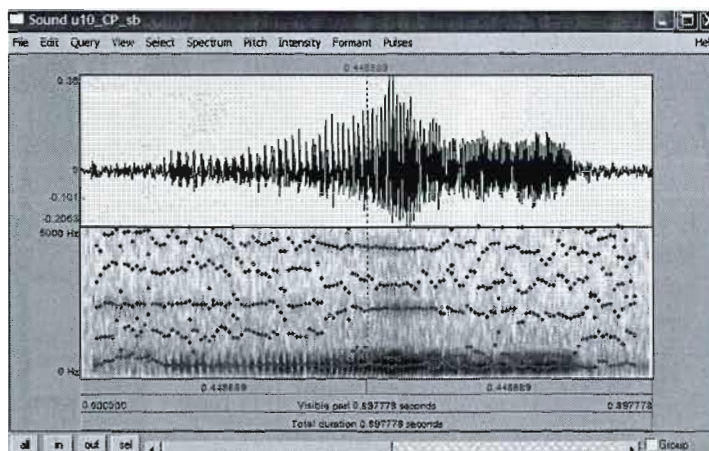


Figure 4.9 Spectrogramme de la production de [u] par le locuteur aveugle CP en condition sans bruit ; indicateur d'un plateau spectral décentré temporellement.

La figure 4.10 présente un dernier cas de figure. Celui-ci concerne le calcul de la valeur de la fréquence fondamentale. Dans l'exemple présenté, nous pouvons remarquer que le locuteur SN, lors de la production de la voyelle [ε] en condition sans bruit, semble moduler la hauteur de sa voix et présenter deux paliers de fréquence fondamentale; il s'agissait plutôt d'une erreur de mesure de F0 par l'algorithme due à la phonation particulière de ce locuteur durant la production de cette occurrence.

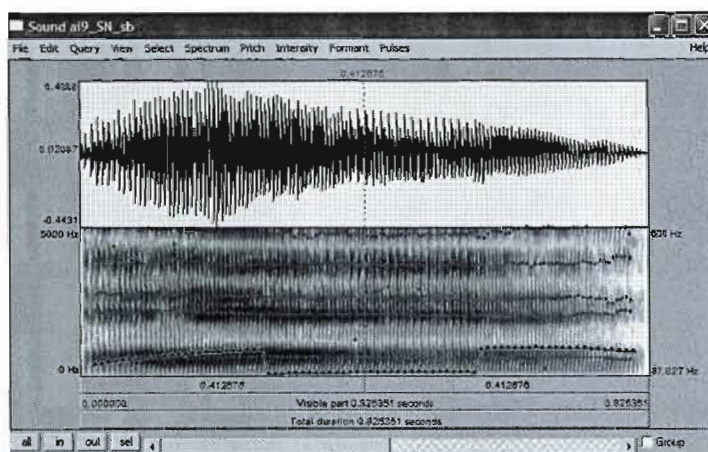


Figure 4.10 Spectrogramme de la production de [ε] par le locuteur aveugle SN dans la condition sans bruit; indicateur d'une erreur de mesure de F0 par l'algorithme.

#### 4.4.1.7 Trapèzes acoustiques dans l'espace F1 versus F2 (en Hertz)

Les valeurs formantiques extraites pour chacune des voyelles produites dans les deux conditions de bruit par tous les locuteurs ont d'abord servi à tracer des trapèzes vocaliques dans l'espace F1 versus F2 en Hertz. Les variations de F1 (en Hertz) sont attestées pour rendre compte de l'aperture et de la hauteur de la langue dans la bouche, alors que celles de F2 (en Hertz) dénotent les traits d'antéro-postériorité et d'arrondissement. Pour tracer ces trapèzes vocaliques, un fichier .data contenant les valeurs de F1, F2, F3 et F4 en Hertz associées à la voyelle qu'ils représentaient et à la condition de bruit dans laquelle elles avaient été produites a été créé pour chacun des sujets. C'est ce fichier de données qui était récupéré par le programme MatLab pour tracer les trapèzes vocaliques dans l'espace F1 versus F2. Ces trapèzes vocaliques étaient formés des 11 ellipses de dispersion des voyelles orales à l'étude, les ellipses étant tracées à  $\pm 1,5$  écart-type de la moyenne des valeurs



formantiques mesurées pour chacune des voyelles. La figure 4.11 fournit un exemple de trapèzes vocaliques qui seront utilisés au cours de l'analyse des résultats.

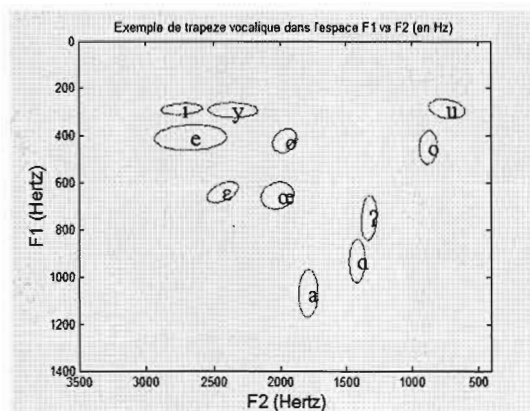


Figure 4.11 Exemple de trapèze vocalique tracé dans l'espace acoustique F1 versus F2 (en Hertz) à partir des valeurs formantiques des 11 voyelles produites<sup>5</sup>, à l'aide d'un programme MatLab.

Ce programme MatLab permettait en outre de fournir plusieurs données de dispersion : les moyennes des valeurs formantiques de F0, F1, F2, F3 et F4 pour chacune des voyelles et leurs écarts-types respectifs en Hertz, l'aire de chacune des ellipses exprimée en Hertz<sup>2</sup>, les distances euclidiennes entre chacune des voyelles exprimées en Hertz et la valeur de l'espace vocalique moyen (noté AVS, de l'anglais « average vowel space ») exprimée en Hertz.

L'aire des ellipses est une des mesures de dispersion auxquelles nous nous attardons au cours de notre analyse. En effet, l'aire des ellipses et ses variations d'une condition à l'autre est révélatrice de la précision de la production dans l'espace F1 versus F2 (en Hertz). Par précision, nous entendons qu'une ellipse de dispersion présentant une grande aire par rapport à une autre est moins précise, le fait d'occuper davantage de surface acoustique dénotant un contrôle moins fin de sa production (Guenther et Gosh, 2003).

Les distances euclidiennes permettent quant à elles de mesurer la séparation acoustique entre les catégories vocaliques produites. Elles résultent du tracé d'une droite qui

<sup>5</sup> Le symbole « ? » présent dans ce graphique et dans tous graphiques subséquents tracés avec MatLab représente la voyelle mi-ouverte arrondie [ɔ] et résulte d'une incapacité de MatLab à employer ce caractère phonétique.

part du centre gravitationnel d'une voyelle vers le centre gravitationnel d'une autre voyelle. Pour ce faire, le programme MatLab effectue le calcul suivant pour toutes les paires de voyelles :

Soit [i] (F1; F2) et [y] (F1\*; F2\*) 2 voyelles dans l'espace F1 vs F2.

Soit  $a$  et  $b$  deux distances :  $a = |F2^* - F2|$  et  $b = |F1^* - F1|$

La distance euclidienne  $c$  (en Hz) séparant [i] et [y] correspond à :

$$c = \sqrt{(a^2 + b^2)}$$

L'examen des distances euclidiennes est d'abord effectué individuellement de façon à pouvoir nous prononcer sur le caractère distinct des contrastes produits dans les deux conditions. Plus concrètement, nous interprétons par exemple une augmentation de la distance euclidienne entre deux contrastes d'une condition à l'autre, c'est-à-dire l'augmentation du contraste acoustique, comme la production de voyelles davantage distinctes les unes des autres. La figure 4.12 permet d'illustrer nos critères de précision et de distinction dans le plan acoustique.

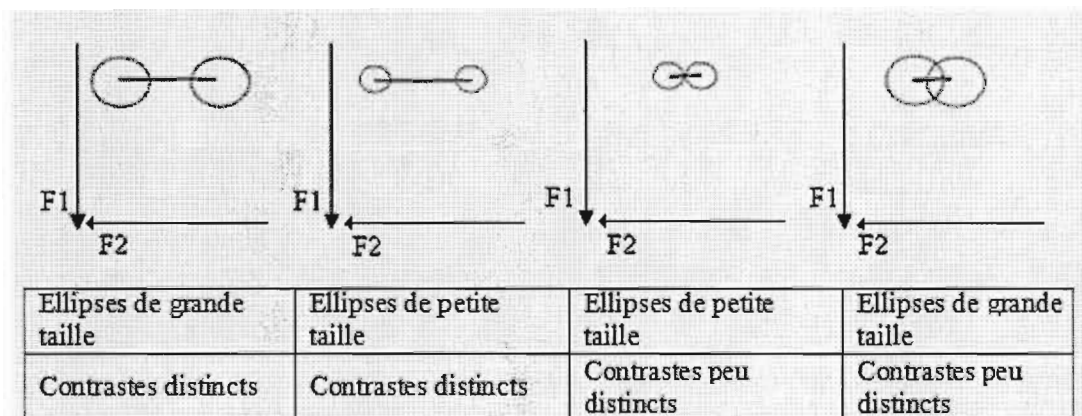


Figure 4.12 Schéma illustrant les critères de précision et de distinction des ellipses.

D'autre part, la valeur de l'AVS constitue elle aussi une mesure importante de la dispersion des catégories vocaliques. Elle consiste en la moyenne de toutes les distances euclidiennes calculées pour un groupe de voyelles et permet de quantifier les changements dans la taille de l'espace vocalique. Lane et al. (2001) ont largement utilisé cette notion pour décrire les contrastes vocaliques chez des populations sourdes implantées. Ils fournissent la formule qui permet de calculer l'AVS, qui se mesure également en Hertz :

$$AVS = \frac{n}{n(n-1)} \left[ \sum_{i=1}^{n-1} \left[ \sum_{j=i+1}^n \left[ (F1_i - F1_j)^2 + (F2_i - F2_j)^2 \right]^{1/2} \right] \right]$$

#### 4.4.1.8 Trapèzes acoustiques dans l'espace F1-F0 versus F2-F1(en Bark)

Dans le but de pouvoir explorer les relations entre production et perception des voyelles orales du français par nos sujets, nous avons jugé pertinent de nous munir d'une représentation uniforme permettant une comparaison juste des deux versants de la parole. Si l'espace acoustique traditionnel F1 versus F2 rend compte de la réalisation physique des voyelles produites et de l'ampleur des manœuvres articulatoires effectuées, il ne rend toutefois pas compte de la perception que les interlocuteurs en ont ni des gabarits perceptuels sur lesquels ils se sont appuyés pour construire leurs représentations vocaliques.

C'est pourquoi nous avons décidé de fournir des représentations graphiques des productions des locuteurs dans les deux conditions de bruit en Bark et à l'aide des mêmes paramètres normalisateurs que dans les représentations graphiques des données de perception. Ainsi, de la même manière que pour le tracé des trapèzes vocaliques de chacun des sujets dans les deux conditions de bruit, un programme MatLab a d'abord repris les valeurs de F1, F2, F3 et F4 des productions des sujets et les a transformées en Bark. Ensuite, le programme a calculé les différences entre les formants voisins F1-F0 et F2-F1 et distribué les données en ellipses selon ces deux axes. Des mesures d'aire d'ellipses (en Bark<sup>2</sup>), de distances euclidiennes (en Bark) et d'AVS (en Bark) ont également été effectuées et il sera alors intéressant de comparer les résultats obtenus dans les deux échelles (Hertz et Bark) et de les lier à ce que nous avons observé en perception.

#### 4.4.2 Enregistrements audio-visuels de données géométriques des lèvres

Afin d'explorer les stratégies articulatoires d'anticipation du mouvement de constriction labiale associé à l'arrondissement, nous avons procédé à l'enregistrements audio-visuels de données géométriques des lèvres en suivant un protocole expérimental similaire à celui présenté à la section 1.1.4.

#### 4.4.2.1 Participants

2 sujets de chaque groupe ont été sélectionnés pour participer à ces enregistrements : les locuteurs voyants CR et FM, de même que les locuteurs aveugles DM et CP.

#### 4.4.2.2 Corpus

Le corpus utilisé était constitué de phrases porteuses dont les séquences cibles avaient la forme  $[iC_ny]$ , où  $C_n$  correspondait à une suite de 0 à 5 consonnes symétriques. Les phrases porteuses du corpus, de même que les séquences cibles sont présentées au tableau 4.11.

Tableau 4.11  
Corpus d'enregistrement des données géométriques d'anticipation labiale

Phrases porteuses	Séquences cibles
Ces deux scies utèrent.	[iy]
Ces deux scies kutèrent.	[iky]
Ces deux sikhs kutèrent.	[ikky]
Ces deux sirs krutèrent.	[irkry]
Ces deux cirques krutèrent.	[irkkry]

10 répétitions de chacune des phrases devaient être effectuées. Pour chacun des sujets, une liste des 50 phrases (5 séquences \* 10 répétitions = 50 phrases) en ordre aléatoire a été créée.

#### 4.4.2.3 Déroulement des enregistrements

Les enregistrements audio-visuels ont eu lieu dans la chambre sourde de l'Université du Québec à Montréal. Les images ont été recueillies à l'aide d'un caméscope numérique Panasonic AG-DVC30 avec microphone à CE Panasonic AG-MC100 à un taux d'échantillonnage de 60 trames par seconde (30 images entrelacées), placé à environ 1,5 mètre en face du sujet. Ce dernier était assis et sa tête était maintenue immobile par un casque. Il portait des verres fumés qui lui permettaient de se protéger des 2 lumières halogènes qui servaient à éclairer son visage de façon à éviter toute zone d'ombre. La partie externe et la partie interne des lèvres visibles lors de la production des voyelles arrondies ont été peintes en bleu cyan à l'aide d'un crayon à maquillage résistant à l'eau. Ce choix de

couleur repose sur le fait qu'en théorie, le bleu est une couleur absente dans cette partie du visage, en facilitant alors la détection automatique.

Avant de débiter l'enregistrement audio-visuel des sujets répétant les phrases porteuses mentionnées à la section précédente, la balance des blancs a été effectuée, de même que le filmage d'une feuille quadrillée de carreaux de 1 centimètre de longueur qui, ultérieurement dans le traitement des données, ont servi de référence de calibration.

#### 4.4.2.4 Numérisation et détection des contours labiaux

Dans un premier temps, nous avons numérisé les enregistrements à l'aide du logiciel Adobe Premiere Pro 7.0. Ensuite, nous avons exporté les images associées à chacune des séquences étudiées en format .bmp, de même que le signal acoustique qui y était rattaché, en format .wav et à un taux d'échantillonnage de 22 050 Hz. L'acquisition des contours labiaux a été effectuée à l'Institut de la Communication Parlée à Grenoble (ICP), à l'aide du système de détection automatique Tacle (Audouy, 2000), dont l'interface est présentée à la figure 4.13, qui effectuait la détection automatique par Chromakey. Pour chacun des sujets, nous avons effectué quelques essais en faisant varier les valeurs du Chromakey de façon à ce que la détection des pixels bleus des lèvres peintes soit optimale.



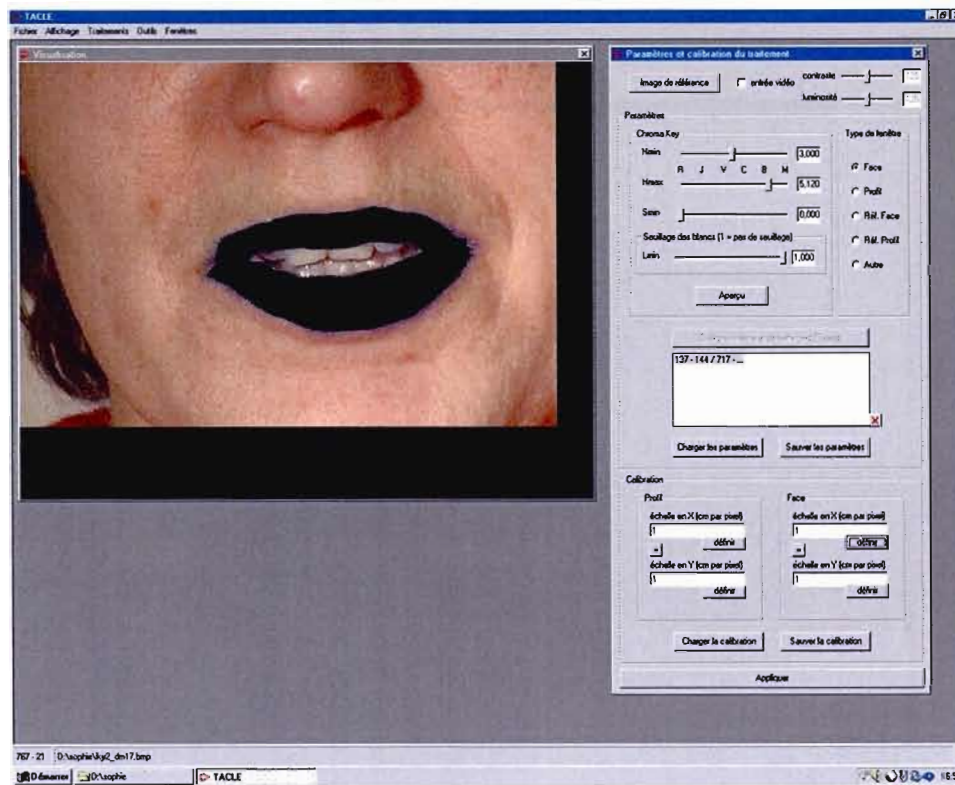


Figure 4.13 Interface du logiciel de détection de contours labiaux Tacle.

L'inspection manuelle des images ayant révélé certaines erreurs de détection, celles-ci ont été corrigées en assignant d'autres valeurs aux paramètres du Chromakey. Aussi, pour le locuteur voyant FM, il semble que lors des enregistrements, la balance des blancs ait été défaillante, si bien que a priori, la détection des contours labiaux comportait de nombreuses et graves erreurs. Nous avons alors dû appliquer un filtre de couleurs dans Adobe Premiere Pro et refaire toutes les étapes d'exportation des images et de détection des contours labiaux avec le logiciel Tacle pour parvenir à obtenir les données géométriques désirées.

#### 4.4.2.5 Étiquetage des événements acoustiques

L'intervalle d'obstruence (IO) a été déterminé sur le spectrogramme et sauvegardé dans des fichiers .TextGrid sous le logiciel Praat., où étaient placées les frontières suivantes, récupérées ultérieurement par un programme MatLab qui permettait de calculer la durée de cet intervalle d'obstruence. :

- Début de la voyelle non arrondie [i]
- Fin de la voyelle non arrondie [i] (début de l'intervalle d'obstruence)
- Début de la voyelle arrondie [y] (fin de l'intervalle d'obstruence)
- Fin de la voyelle arrondie [y]

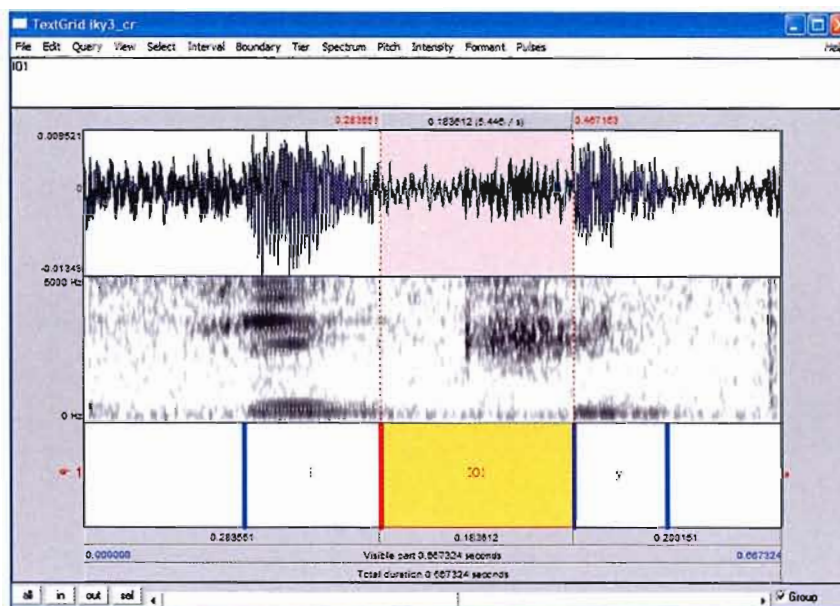


Figure 4.14 Étiquetage de l'intervalle d'obstruence sous le logiciel Praat sur une séquence [iky] prononcée par la locutrice voyante CR.

Nous avons dû nous doter de critères particuliers lors de l'étiquetage des événements acoustiques car nos signaux acoustiques se sont avérés être bruités, dû à des problèmes de micro lors des enregistrements. Ainsi, pour le repérage du début des voyelles [i] et [y], dans un premier temps, nous nous sommes fié à la barre de voisement, puis à l'écoute individuelle de l'environnement acoustique de cette barre de voisement, puisque cette dernière n'était pas toujours bien visible sur le spectrogramme.

#### 4.4.2.6 Étiquetage des événements articulatoires

Le logiciel Tacle fournissait un fichier de sortie dans lequel était mentionnée la valeur de l'aire aux lèvres, en centimètres carrés, pour chacune des images analysées. Le programme Trap (sous MatLab), permettait de visionner simultanément le signal acoustique, le signal articulatoire de l'aire aux lèvres et la dérivée seconde de ce dernier signal (accélération). Ont donc été étiquetés les événements acoustiques suivants, illustrés à la figure 4.15 :

- Aire maximale de [i] (1 sur la figure)
- 10% de la différence d'aire entre [i] et [y] (2 sur la figure)
- 90% de la différence d'aire entre [i] et [y] (3 sur la figure)
- Aire minimale de [y] (4 sur la figure)
- 10% de la différence d'aire entre [i] et [y] selon la valeur minimale de [y] (5 sur la figure)

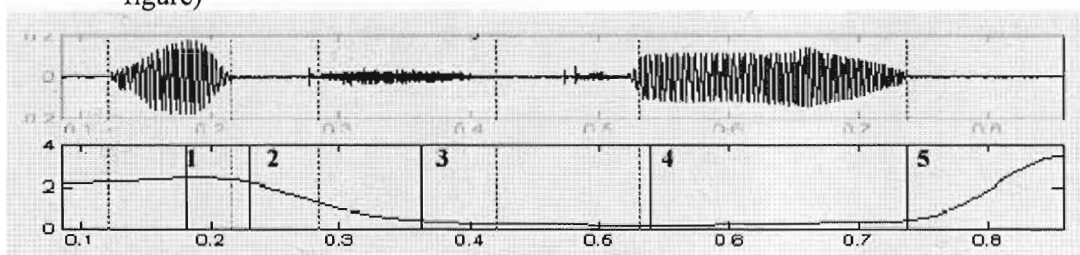


Figure 4.15 Étiquetage des événements articulatoires sur une séquence [iCny]. (Tirée de Noiray et al., 2004).

L'aire maximale de [i] et l'aire minimale de [y] sont directement issus de la courbe de variation de l'aire aux lèvres selon le temps, alors que les trois autres événements sont issus de calculs ; l'intervalle entre les événements 2 et 3 correspond au « time falling », c'est-à-dire à la chute, et l'intervalle entre les événements 3 et 5 correspond au « hold », c'est-à-dire à la tenue, la phase durant laquelle la constriction a le plus d'influence acoustique.

#### 4.4.2.7 Test du MEM

À partir de ces étiquettes acoustiques et articulatoires, le programme Trap a permis de tracer des graphiques mettant en relation la durée totale du mouvement de constriction (TF+H) et la durée de l'intervalle d'obstruence IO (revoir figure 1.6b). Une analyse de régression linéaire a été effectuée sur les données de chacun des sujets, en excluant les données des séquences [iy]. La droite résultant de cette régression linéaire a été tracée et la discussion basée sur la valeur de la pente, du coefficient de corrélation et sur la constante d'exécution.



## TROISIÈME PARTIE

### RÉSULTATS ET ANALYSE

## CHAPITRE V

### ANALYSE DES TESTS PERCEPTIFS : ORGANISATION DES TRAPÈZES VOCALIQUES AUDITIFS, FRONTIÈRES D'IDENTIFICATION ET PICS DE DISCRIMINATION

Au cours de ce chapitre, nous cherchons à caractériser acoustiquement et auditivement les capacités identificatrices et discriminatrices des 6 participants voyants et des 6 participants aveugles. Tel que nous l'avons démontré au chapitre 3, la littérature relative aux habiletés perceptives des aveugles n'est pas très volumineuse, les descriptions offertes ne sont pas nécessairement effectuées dans une perspective de parole et les conclusions tirées sont souvent contradictoires. Pour pallier ces lacunes, nous proposons dans un premier temps la présentation du mode de classification des données utilisé, appuyant la validité des tendances par la suite exposées. Ensuite, un exposé détaillé des frontières d'identification des traits vocaliques et des pics de discrimination de continua vocaliques est offert de façon comparative entre les deux groupes de sujets. Ainsi, cette description est offerte bien que les résultats des ANOVA ne soient pas significatifs; elle permet tout de même de formuler des tendances pertinentes en regard du rôle de l'accès à la vision dans les représentations perceptives. À la lumière de ce que nous savons du rôle de la vision dans la perception audio-visuelle de la parole, nous pouvons poser l'hypothèse selon laquelle les auditeurs aveugles congénitaux, par leur privation d'exposition à la parole audio-visuelle, présentent une organisation perceptuo-acoustique légèrement différente, due à la formation de leurs catégories phonétiques en l'absence de tout indice visuel.

#### 5.1 Remarques préliminaires sur le critère de cohérence

Rappelons d'abord ce en quoi consiste le critère de cohérence, tel que défini à la section 4.3.1.4. Ce critère permet la classification des percepts recueillis dans le cadre du test

d'identification de voyelles synthétisées, où 2 répétitions de chacun des stimuli avaient été présentées aux sujets. Nous aurions donc pu procéder à l'analyse de tous ces percepts, mais nous avons choisi d'étudier que les percepts dits *cohérents*, c'est-à-dire les percepts dont l'identification a été identique pour les 2 répétitions, en regard de la catégorie phonétique (cohérence globale) ou du trait étudié (cohérence d'aperture, d'antéro-postériorité et d'arrondissement) pour les raisons exposées à la section 5.1.2.

### 5.1.1 Taux de cohérence

Les taux de cohérence globale, d'aperture, d'antériorité et d'arrondissement ont été calculés pour chacun des sujets et se trouvent en annexe C. La figure 5.1 permet de comparer les moyennes des taux de cohérence de chacun des groupes. Tel qu'attendu, les taux de cohérence globale sont ceux qui possèdent les valeurs les moins élevées chez les deux groupes de sujets. En effet, les participants disposant des 11 voyelles orales du français québécois en guise de choix de réponses et le critère de cohérence globale exigeant la même identification phonémique des 2 occurrences, nous observons des taux de cohérence globale de 74,4% et 71,1%, respectivement chez les voyants et les aveugles; une ANOVA à un facteur a révélé que cette différence entre les 2 groupes n'est pas significativement différente.

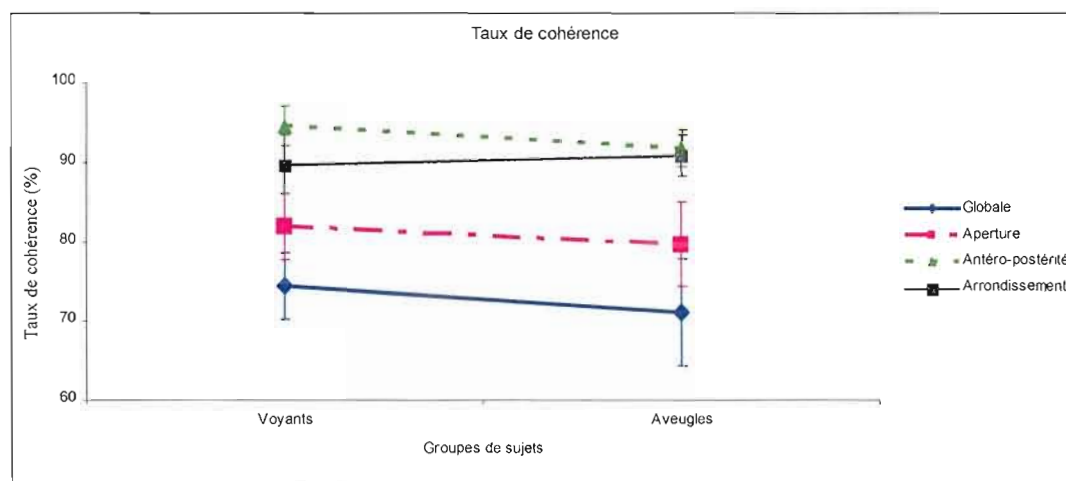


Figure 5.1 Taux de cohérence globaux, d'aperture, de lieu d'articulation et d'arrondissement par groupe de sujets; les barres d'erreur sont tracées à  $\pm 1$  écart-type.

Le critère de cohérence d'aperture permet de départager les percepts cohérents et incohérents quant aux étiquettes (F, MF, MO et O) apposées à chacun des 2 percepts fournis

aux 2 répétitions de chaque stimulus. Le taux moyen de cohérence d'aperture pour le groupe de sujets voyants est de 81,8% et il est de 79,6% pour les sujets aveugles et cette différence n'est pas significative, selon l'ANOVA à un facteur appliquée.

Les critères de cohérence d'antériorité et d'arrondissement n'impliquant que 2 étiquettes chacun, respectivement ANT et POST, et A et NA, il est normal d'observer des taux de cohérence plus élevés. Le taux de cohérence d'arrondissement est le seul qui soit plus élevé chez les aveugles que chez les voyants (94,5% versus 91,8%), mais cette différence n'est pas significative. La différence entre la cohérence d'antériorité entre les sujets voyants (moyenne de 89,7%) et les sujets aveugles (90,8%) n'est pas significative non plus.

#### 5.1.2 Impact de la classification des percepts en terme de cohérence

Les résultats des analyses Probit visant à mesurer les frontières catégorielles relatives aux traits d'arrondissement, de lieu d'articulation et d'aperture sont présentés aux sections 5.2 et 5.3. Dans un premier temps, les calculs ont été effectués avec la totalité des percepts recueillis, c'est-à-dire l'ensemble de données que nous désignons par le terme *tous*, puis dans un deuxième temps, qu'avec les données issues des paires de percepts cohérents, c'est-à-dire le sous-ensemble de percepts que nous appelons *cohérents*.

Les données de l'auditeur voyant FG fournissent un bon exemple des différences qu'induit l'inclusion des percepts non cohérents à l'analyse. Les courbes d'identification de l'arrondissement de ce sujet sont présentées à la figure 5.2. La courbe a) a été calculée à partir de tous les percepts de ce sujet, alors que la b) a été calculée qu'avec les percepts cohérents, qui représentaient 82,9% de la totalité des percepts fournis. Nous constatons que la distinction *tous* versus *cohérents* donne lieu à des différences entre les frontières d'identification de l'ordre de 0,47 Bark et à d'importantes variations dans la valeur des pentes; la courbe calculée avec tous les percepts a une pente d'une valeur de 0,42 et dénote une frontière à 15,04 Bark sur l'axe F2', alors que la courbe calculée avec les percepts cohérents a une pente d'une valeur de 0,90 et dénote une frontière de 15,51 Bark.

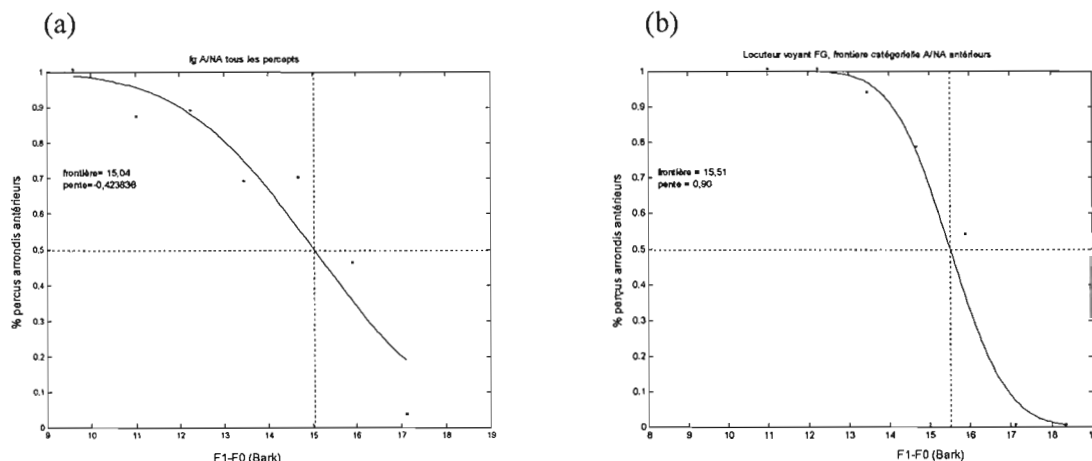


Figure 5.2 Courbes d'identification du trait d'arrondissement du locuteur voyant FG, calculée à partir de tous les percepts (en a) et qu'avec les percepts cohérents (en b).

Par conséquent, nous ne présentons que les frontières catégorielles calculées à partir des paires de percepts cohérents relativement au trait étudié. Ainsi, l'étiquetage des percepts sur une base phonémique ayant donné lieu aux calculs de cohérence globale n'a été présenté à la section précédente qu'à titre indicatif puisque ces distinctions ne donnent pas lieu à de nouveaux sous-ensembles de données à analyser. Par contre, les calculs de cohérence d'aperture, de lieu d'articulation et d'arrondissement ont permis de montrer qu'un maximum de 20% des données sont rejetées (dans le cas de l'aperture), proportion que nous jugeons acceptable étant donné le grand nombre de stimuli présentés et l'étendue de l'espace vocalique représenté (490 voyelles acoustiquement différentes). De la même façon, les représentations sous forme d'ellipses de dispersion présentées en annexe D excluent également les percepts non cohérents.

## 5.2 Résultats issus du test d'identification de voyelles synthétisées

La description des résultats du test d'identification de voyelles synthétisées est basée sur l'analyse des paramètres suivants : les frontières de catégorisation Probit, les pentes de ces courbes d'identification et l'aire des catégories vocaliques perçues dans les espaces auditifs F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) et F1-F0 versus F2' (en Bark). La valeur des frontières catégorielles permet de délimiter les limites des zones perceptives, tandis que les pentes des

courbes d'identification nous renseignent sur la nature plus ou moins catégorielle de la perception. Finalement, l'aire des ellipses vocaliques de perception est révélatrice de la taille des zones perceptives.

### 5.2.1 Perception du trait d'aperture

Les 3 frontières d'identification des contrastes d'aperture, percepts fermés versus mi-fermés, mi-fermés versus mi-ouverts et mi-ouverts versus ouverts, ont été calculées sur les données issues du plan F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) et à partir du paramètre normalisateur F1-F0 (en Bark).

#### 5.2.1.1 Percepts fermés

À la figure 5.3 sont présentées les frontières d'identification du contraste fermé versus mi-fermé. En moyenne, chez les sujets voyants, la frontière d'identification se situe à 1,40 Bark et à 1,33 Bark chez les sujets aveugles; une ANOVA à un facteur a révélé qu'il n'y avait pas de différence significative entre les frontières des deux groupes de sujets. Ménard et al. (2002) avaient proposé que les voyelles [i y u] étaient perçues fermées lorsque la valeur de F1-F0 était égale ou inférieure à 2 Bark. Le fait qu'ils avaient calculé cette frontière à partir des résultats obtenus sur 43 sujets, alors que chacun de nos groupes de sujets ne compte que 6 participants, peut alors peut-être expliquer cette différence dans la valeur de la frontière d'identification du trait fermé, de même que la différence de variété de français étudiée (français hexagonal dans l'étude de Ménard et al. 2002, et français québécois dans la présente étude).

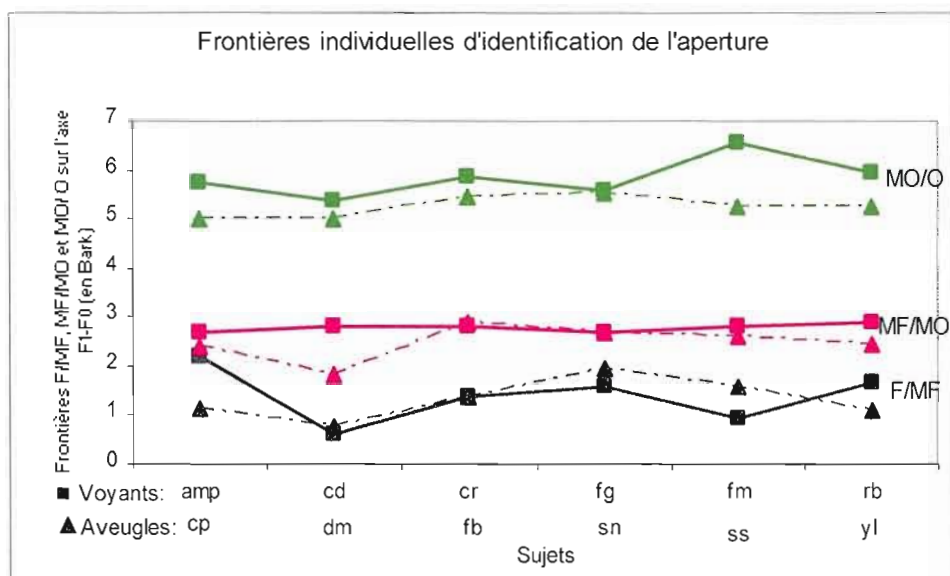


Figure 5.3 Frontières d'identification des contrastes d'aperture (en Bark) par sujet et par groupe.

À la figure 5.4, nous comparons les pentes des courbes d'identification du contraste fermé versus mi-fermé des sujets voyants et des sujets aveugles. La valeur moyenne des pentes des sujets voyants est de 1,37 (les pentes varient entre 1,02 et 1,63) et celles des sujets voyants est de 1,32 (les pentes varient entre 1,20 et 1,47). Une ANOVA à un facteur a été appliquée sur les valeurs individuelles de pentes, mais elle n'a pas révélé de différences significatives entre les deux groupes de sujets. D'un point de vue acoustico-auditif, nous pouvons alors dire que la perception du contraste fermé versus mi-fermé est similaire chez les deux groupes de sujets et que leur perception est globalement aussi catégorielle.

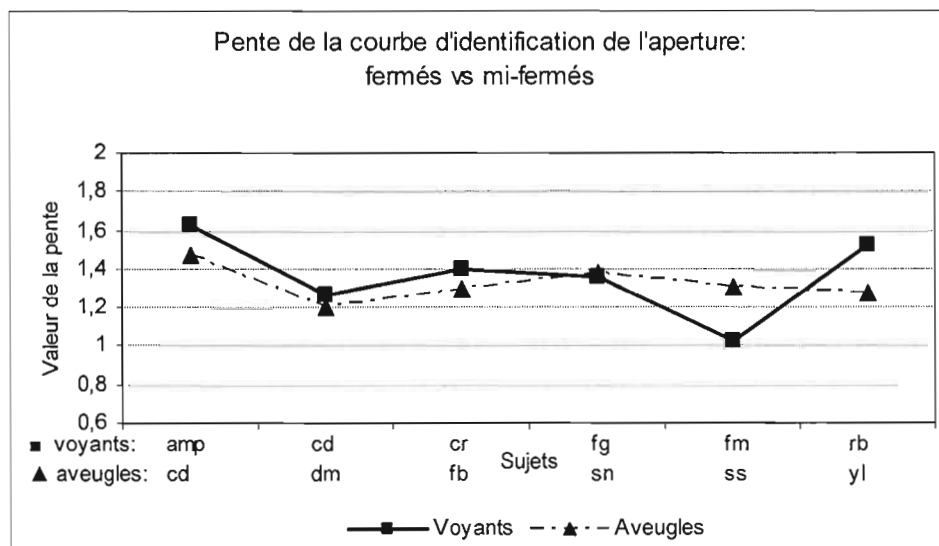


Figure 5.4 Pentas des courbes d'identification du contraste fermé vs mi-fermé pour chacun des sujets et chacun des groupes.

Si les valeurs des frontières et des pentes nous renseignent respectivement sur les critères perceptifs des sujets et sur le caractère catégoriel de leur perception, l'analyse de l'aire des ellipses de perception fournit des renseignements sur la distribution des items acoustico-auditifs permettant de former les catégories vocaliques. Ainsi, nous présentons à la figure 5.5 les moyennes individuelles de l'aire des ellipses (en  $\text{Bark}^2$ ) des percepts fermés dans le plan  $F1-F0$  versus  $F2-F1$ . Nous pouvons y constater que, de façon générale, les ellipses des percepts fermés des participants aveugles occupent moins d'espace acoustico-auditif (moyenne de  $4,77 \text{ Bark}^2$ ) que celles des participants voyants (moyenne de  $5,32 \text{ Bark}^2$ ), bien que cette différence, calculée avec une ANOVA à un facteur, ne soit pas significative. C'est donc dire que globalement, la perception du trait fermé chez les sujets voyants et aveugles est similaire.



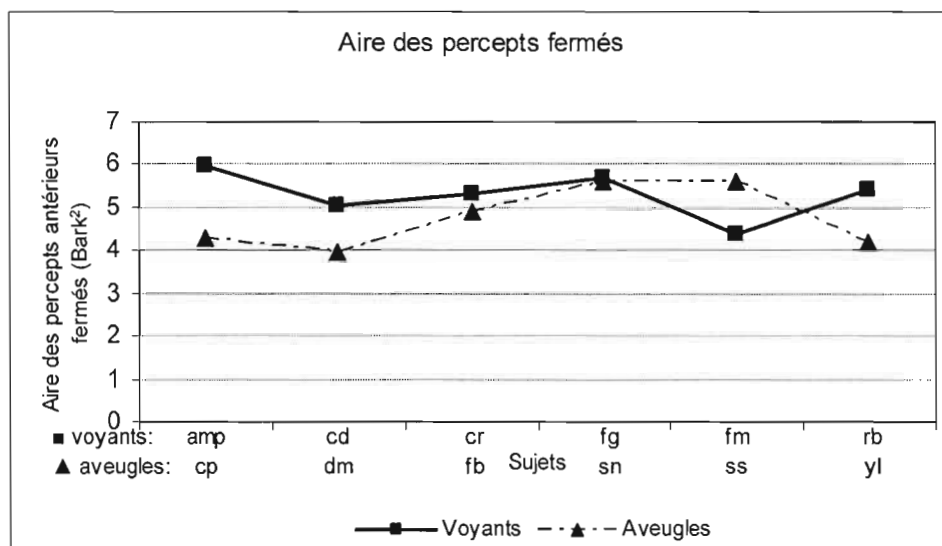


Figure 5.5 Aire des ellipses des percepts fermés (en Bark<sup>2</sup>) calculée dans le plan F1-F0 versus F2-F1 pour chacun des sujets.

#### 5.2.1.2 Percepts mi-fermés

Retournons à la figure 5.3 et attardons-nous à la frontière d'identification du contraste entre percepts mi-fermés et mi-ouverts. La moyenne des frontières des sujets voyants est de 2,79, avec très peu de variabilité interindividuelle (faible étendue de 0,19 Bark), alors que la moyenne des frontières des sujets aveugles est 2,48 Bark (étendue de 1,03 Bark). Une ANOVA à un facteur a révélé qu'il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes de sujets. Ménard et al. (2002) avaient trouvé que les voyelles étaient perçues comme mi-fermées lorsque leurs valeurs se trouvaient entre 2 et 4 Bark sur l'axe normalisateur F1-F0 (en Bark). Nos données révèlent plutôt un intervalle inférieur en grandeur et en étendue, situé entre environ 1,3 et 2,8 Bark; cette différence peut à nouveau s'expliquer par la taille de notre échantillon.

À la figure 5.6 sont présentées les pentes des courbes d'identification de chacun des sujets. Les pentes de sujets voyants varient entre 0,68 et 1,95 pour une moyenne de 1,43 et celles des sujets aveugles varient entre 0,99 et 1,50 pour une moyenne de 1,21. Une ANOVA à un facteur a été appliquée sur ces données et a montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les pentes des deux groupes de sujets, c'est-à-dire que globalement, leur perception est aussi catégorielle l'une que l'autre, bien que la tendance des sujets aveugles à

présenter une valeur de frontière et une pente inférieures à celle des sujets voyants trouvée dans la perception des voyelles fermées soit toujours présente avec les voyelles mi-fermées.

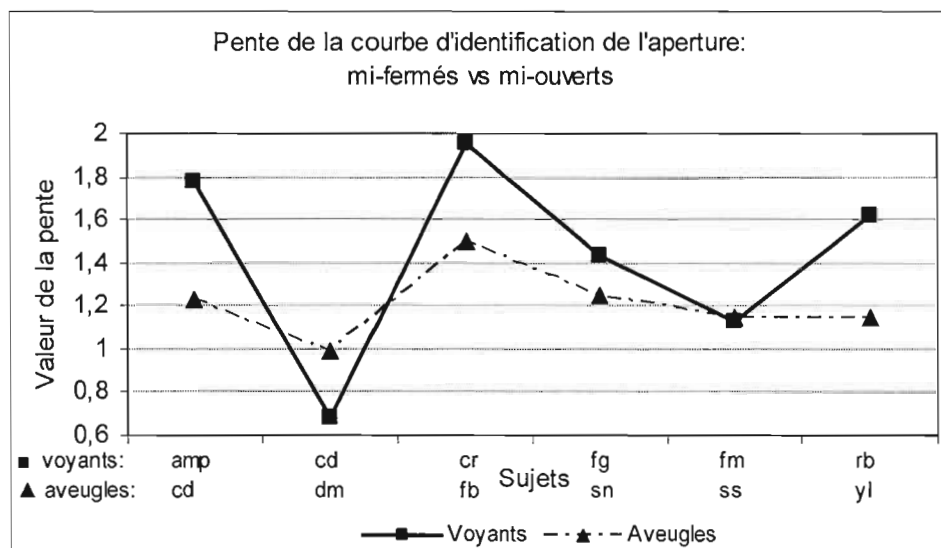


Figure 5.6 Pentes des courbes d'identification du contraste mi-fermé vs mi-ouvert pour chacun des sujets et chacun des groupes.

La moyenne de l'aire des ellipses des percepts mi-fermés de tous les sujets se trouve à la figure 5.7. À nouveau, une ANOVA à un facteur a montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes de sujets à cet égard. En effet, la moyenne de l'aire des percepts mi-fermés des sujets voyants est de 4,47 Bark<sup>2</sup> et celle des sujets aveugles est de 4,20 Bark<sup>2</sup>.

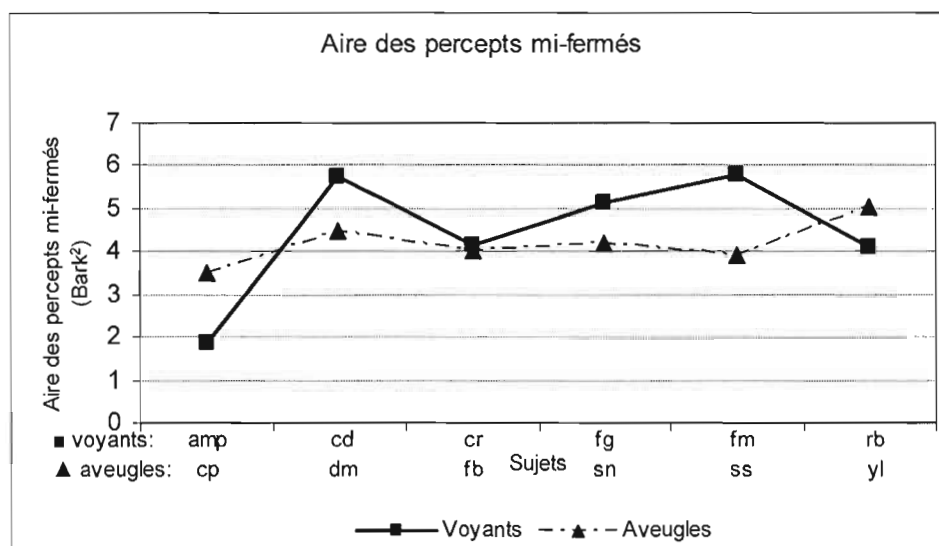


Figure 5.7 Aire des ellipses des percepts mi-fermés (en Bark<sup>2</sup>) calculée dans le plan F1-F0 versus F2-F1 pour chacun des sujets.

Ces résultats démontrent à nouveau que les sujets voyants et aveugles ont un comportement perceptif similaire relativement à la perception des voyelles mi-fermées. Notons toutefois qu'en moyenne, les participants aveugles présentent une frontière de perception, une pente de catégorisation et une aire des percepts mi-fermés légèrement inférieures à celles des sujets voyants.

### 5.2.1.3 Percepts mi-ouverts

Les frontières d'identification de chacun des sujets permettant de distinguer les voyelles mi-ouvertes des voyelles ouvertes se trouvent à la figure 5.3. Pour les sujets voyants, la valeur de cette frontière varie entre 5,37 Bark et 6,55 Bark, avec une moyenne de 5,84 Bark. Pour les sujets aveugles, elle varie entre 5,01 Bark et 5,55 Bark, avec une moyenne de 5,26 Bark. Une ANOVA à un facteur a révélé que pour ce contraste, les frontières des sujets aveugles sont significativement inférieures à celles des sujets voyants ( $F(1,12)=9,611$  pour  $\alpha<0,05$ ). Ménard et al. (2002) ayant remarqué une confusion phonologique entre [a] et [ɔ], ils n'avaient pas calculé de frontières entre les percepts mi-ouverts et ouverts. Il est vrai que nous avons observé à l'occasion ce type de confusion, mais davantage entre [a] et [ɔ].

D'une part, il est possible que ce soit cette confusion qui soit responsable de cette différence significative entre les deux groupes de sujets. D'autre part, nous proposons que puisque la frontière des aveugles est supérieure à celle des voyants, le corridor acoustico-auditif réservé aux percepts ouverts soit plus petit que celui des aveugles. C'est donc dire que pour les sujets voyants, un percept ouvert correspond à une certaine zone plus haute le long de la dimension F1-F0 et à une ouverture buccale et une valeur maximale d'aire aux lèvres supérieures. En effet, si la grandeur de F1-F0 est plus grande, c'est que celle de F1 l'est également, donc l'aperture et l'aire interlabiale, des dimension récupérables visuellement, sont également grandes. Au contraire, pour les aveugles, la zone perceptive des voyelles ouvertes commence à une valeur inférieure de F1-F0, c'est-à-dire qu'en l'absence d'indices visuels, ils ont pu augmenter la taille de ce corridor dans le plan acoustique. Les aveugles possèdent alors plus de latitude articulatoire pour percevoir le même trait. Cette hypothèse n'est pas confirmée par la taille des ellipses, qui n'est pas significativement plus élevée chez les sujets aveugles, mais une tendance est tout de même présente.

La figure 5.8 présente les pentes des courbes d'identification des percepts mi-ouverts versus ouverts par les sujets aveugles et voyants. La moyenne des pentes des sujets voyants est de 1,11 (la valeur des pentes varie entre 0,66 et 1,68) et celle des sujets aveugles est de 0,95 (la valeur des pentes varie entre 0,8 et 1,15). Une ANOVA à un facteur a révélé qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les pentes des deux groupes de sujets. Parmi les contrastes d'aperture, nous remarquons que, chez les deux groupes de sujets, ce sont les pentes issues des courbes d'identification des voyelles mi-ouvertes versus ouvertes dont les valeurs sont les plus petites, comme si pour ce contraste, la perception était moins catégorielle. C'est peut-être, justement, la confusion phonologique occasionnelle entre [ɑ] et [ɔ] qui est responsable de cette imprécision de la catégorisation.

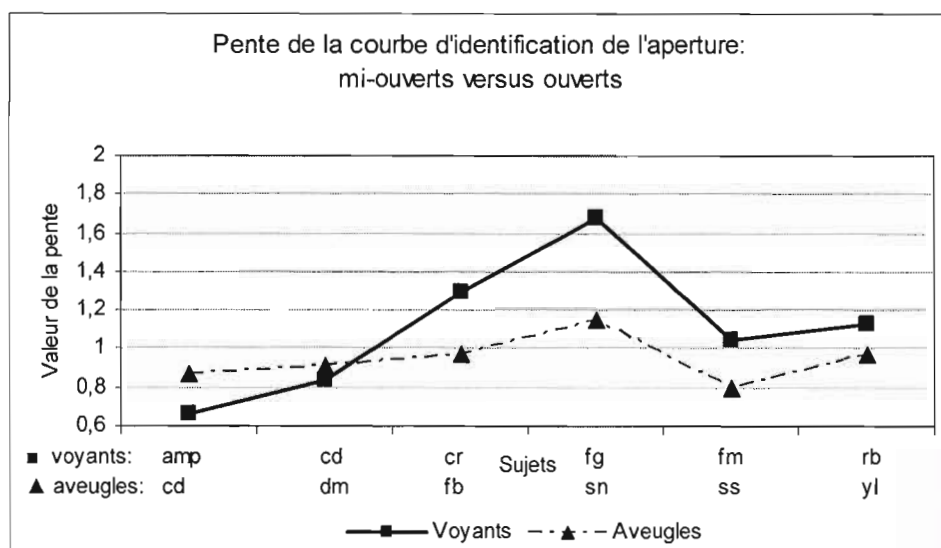


Figure 5.8 Pentes des courbes d'identification du contraste mi-ouvert vs ouvert pour chacun des sujets et chacun des groupes.

Les figures 5.9 et 5.10 présentent respectivement l'aire moyenne des percepts mi-ouverts et ouverts pour chacun des sujets. La superposition des courbes à la figure 5.9 dénote à quel point les deux groupes de sujets sont semblables dans leur occupation de l'espace perceptif des voyelles mi-ouvertes (moyenne de  $6,18 \text{ Bark}^2$  pour les voyants et de  $5,87 \text{ Bark}^2$  pour les aveugles), alors il n'est pas surprenant qu'une ANOVA à un facteur n'ait pas révélé de différences significatives entre les deux groupes.

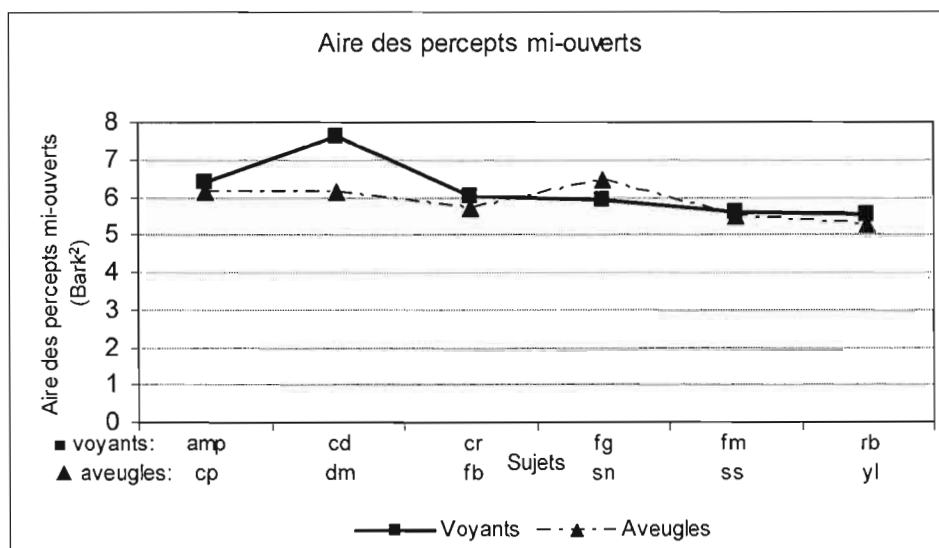


Figure 5.9 Aire des ellipses des percepts mi-ouverts (en Bark<sup>2</sup>) calculée dans le plan F1-F0 versus F2-F1 pour chacun des sujets.

En ce qui a trait aux percepts ouverts, les sujets voyants présentent une moyenne d'aire de 6,81 Bark<sup>2</sup>, alors que la moyenne d'aire des sujets aveugles est de 9,79 Bark<sup>2</sup>. Bien que cette différence soit importante, elle n'est pas significative, tel que l'a révélé une ANOVA à un facteur.

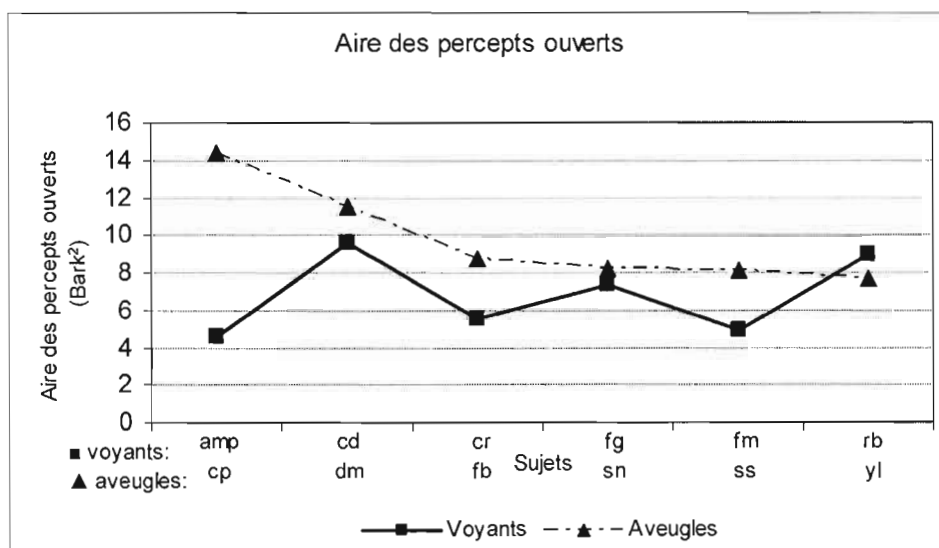


Figure 5.10 Aire des ellipses des percepts ouverts (en Bark<sup>2</sup>) calculée dans le plan F1-F0 versus F2-F1 pour chacun des sujets.

Nous aurions toutefois pu nous attendre à ce que l'accès exclusif des aveugles aux indices acoustiques ait façonné leur système perceptif de façon telle qu'ils auraient présenté des courbes plus abruptes évocatrices d'une perception plus catégorielle. Or, leur légère tendance à présenter des pentes moins abruptes semble plutôt aller dans le sens contraire, à savoir qu'ils présenteraient une zone d'instabilité perceptive plus grande que les voyants due à l'absence du support désambiguisateur de la vision dans les contrastes visibles d'aperture. Voyons si cette tendance est présente dans la perception des autres traits.

### 5.2.2 Perception du trait de lieu d'articulation

Les calculs des frontières d'identification du lieu d'articulation ont été effectués à partir du paramètre normalisateur F2-F1 (en Bark) et des données issues du plan F1-F0 vs F2-F1. La figure 5.11 présente les frontières d'identification calculées pour chacun des sujets. La moyenne des frontières calculées pour les sujets voyants est de 4,96 Bark (les frontières varient entre 4,07 et 5,43 Bark) et celle des sujets aveugles est de 4,80 Bark (les frontières varient entre 4,44 et 5,02 Bark) et une ANOVA à un facteur a révélé qu'il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes. Ces moyennes expérimentales calculées pour les 6 sujets par groupe sont comparables à la valeur trouvée par Ménard et al. (2002) de 5,5 Bark, calculée sur un échantillon de 43 sujets.

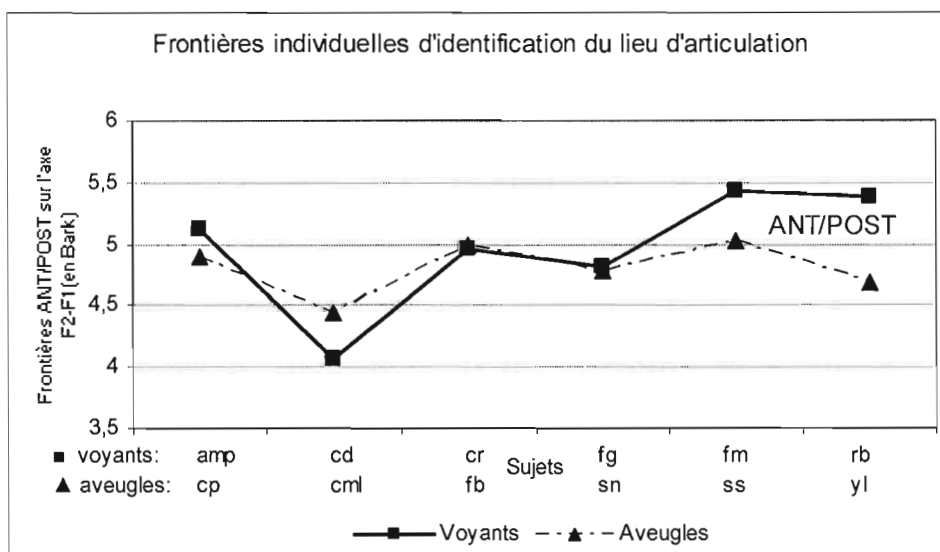


Figure 5.11 Frontières d'identification du contraste de lieu d'articulation (en Bark) par sujet et par groupe.

Les pentes des courbes d'identification de chacun des sujets sont présentées à la figure 5.12. La moyenne des pentes des sujets voyants est de 1,46 (les pentes varient entre 1,30 à 1,62) et celle des sujets aveugles est de 1,35 (les pentes varient entre 0,94 et 1,85). Une ANOVA à un facteur a été appliquée sur ces données et a révélé que la différence entre les deux groupes n'était pas significative.

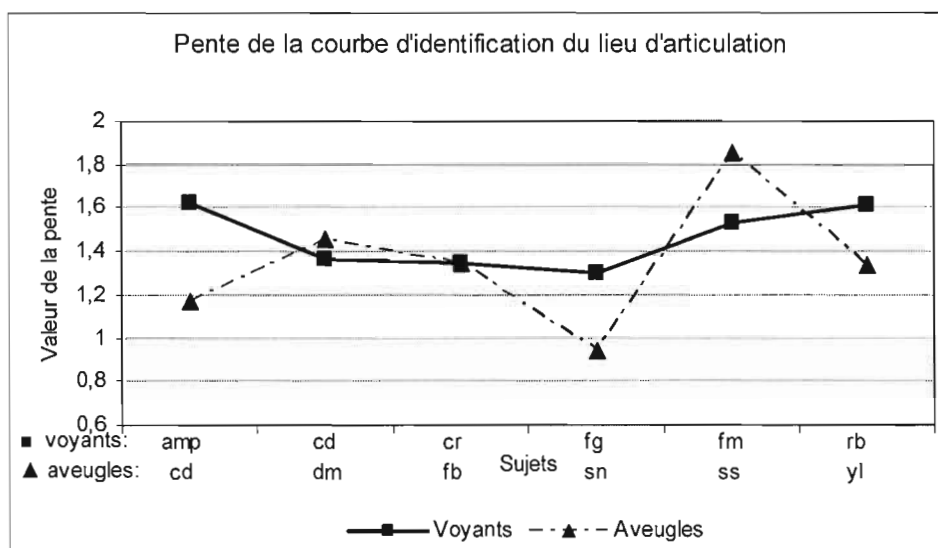


Figure 5.12 Pentes des courbes d'identification du contraste antérieur vs postérieur pour chacun des sujets et chacun des groupes.

Aux figures 5.13 et 5.14, sont présentées respectivement les aires moyennes des percepts antérieurs et des percepts postérieurs de chaque sujet. Chez les sujets voyants, la moyenne de l'aire des percepts antérieurs est de 6,47 Bark<sup>2</sup> et celle des sujets aveugles s'élève à 5,80 Bark<sup>2</sup>, mais la différence entre les deux groupes n'est pas significative, tel que l'a révélé une ANOVA à un facteur.



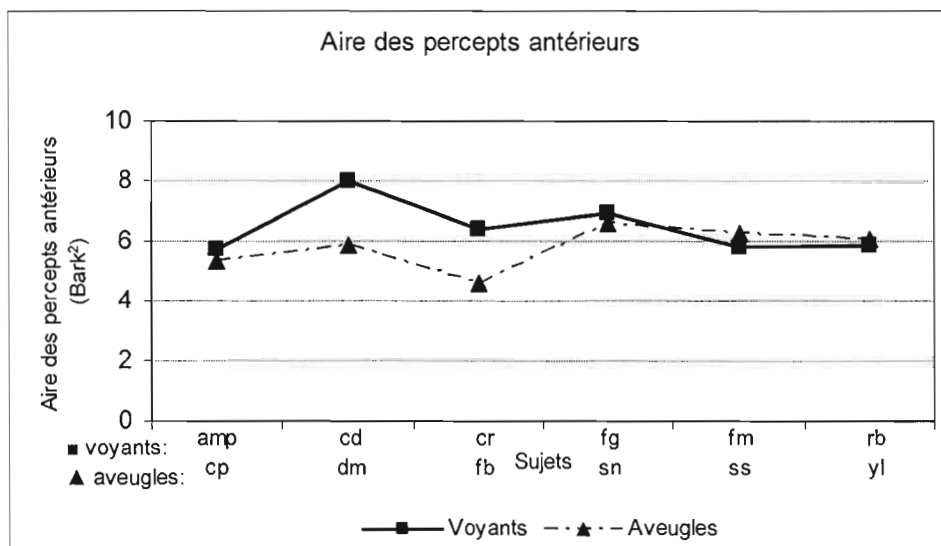


Figure 5.13 Aire des ellipses des percepts antérieurs calculée dans le plan F1-F0 versus F2-F1 pour chacun des sujets.

Aucune différence significative n'a été trouvée entre les aires des percepts postérieurs des sujets voyants (moyenne de 3,04 Bark<sup>2</sup>) et des sujets aveugles (moyenne de 2,78 Bark<sup>2</sup>). Nous remarquons cependant que la taille des ellipses des percepts postérieurs est nettement plus petite que celle des percepts antérieurs, particulièrement pour la catégorie vocalique [ɔ] et [o]. Cette petite occupation de l'espace auditivo-acoustique par les catégories vocaliques postérieures serait causée par la faible distance entre les items composant les ellipses de perception, mais également par le faible nombre d'items.

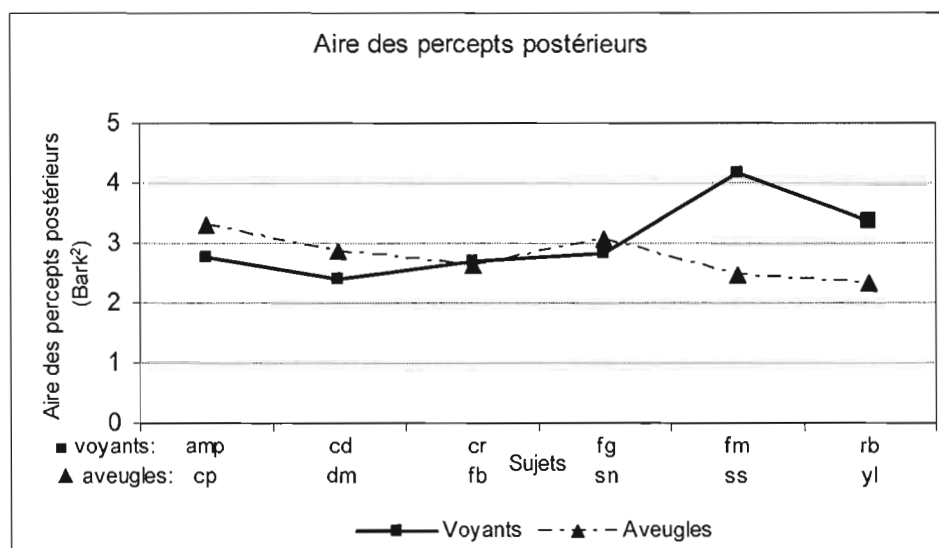


Figure 5.14 Aire des ellipses des percepts ouverts (en  $\text{Bark}^2$ ) calculée dans le plan F1-F0 versus F2-F1 pour chacun des sujets.

Le lieu d'articulation des voyelles n'étant pas un trait relié à la vision, aucune différence particulière n'était attendue entre les deux groupes de sujets et c'est précisément ce qui s'est produit. Examinons maintenant la perception du trait d'arrondissement qui lui, possède des réalisations visibles qui, nous le supposons, pourraient avoir des conséquences dans le domaine perceptif.

### 5.2.3 Perception du trait d'arrondissement

Ayant adopté F2' comme paramètre normalisateur de la perception de l'arrondissement, les frontières calculées pour chacun des sujets dans le plan F1-F0 versus F2' sont présentées à l'aide de celui-ci à la figure 5.15. La moyenne des frontières calculées pour les sujets voyants est de 15,12 Bark (les frontières varient entre 14,80 et 15,52 Bark) et celle des sujets aveugles est de 14,75 Bark (les frontières varient entre 14,08 et 15,78 Bark), mais une ANOVA à un facteur a montré que cette différence n'était pas significative. Mentionnons que Ménard et al. (2002) proposent que la frontière perceptive entre voyelles antérieures arrondies et non arrondies se trouve à 15,5 Bark; nos résultats vont également dans ce sens, bien qu'ils soient légèrement inférieurs.

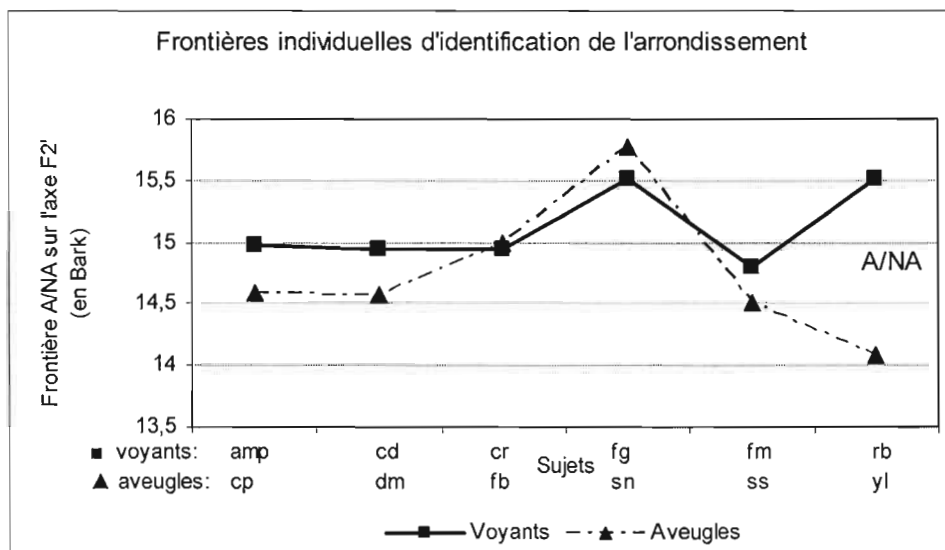


Figure 5.15 Frontières d'identification du contraste d'arrondissement antérieur (en Bark) par sujet et par groupe.

La figure 5.16 présente les pentes des courbes d'identification de chacun des sujets. La moyenne des pentes des sujets voyants est de 0,93 (les pentes varient entre 0,72 et 1,13 Bark) alors que celle des sujets aveugles est de 0,91 (les pentes varient entre 0,72 et 1,16); il n'est pas étonnant qu'une ANOVA à un facteur ait révélé qu'il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes, les données de l'un suivant étroitement les données de l'autre. En somme, nous observons que chez les deux groupes de sujets, c'est dans la catégorisation de ce trait que les pentes semblent les moins abruptes et dénoteraient alors une perception moins catégorielle. Nous aurions pu nous attendre à ce que la perception des sujets voyants soit moins catégorielle à l'égard de l'arrondissement, l'efficacité de la catégorisation de ces derniers étant basée entre l'utilisation des indices visuels et des indices acoustiques. Ainsi, nous aurions pu faire l'hypothèse d'une perception plus catégorielle chez les aveugles, le système perceptif de ces derniers ayant été entraîné à n'utiliser que les indices acoustiques, mais il s'avère plutôt que le caractère catégoriel de la perception des deux groupes est similaire.

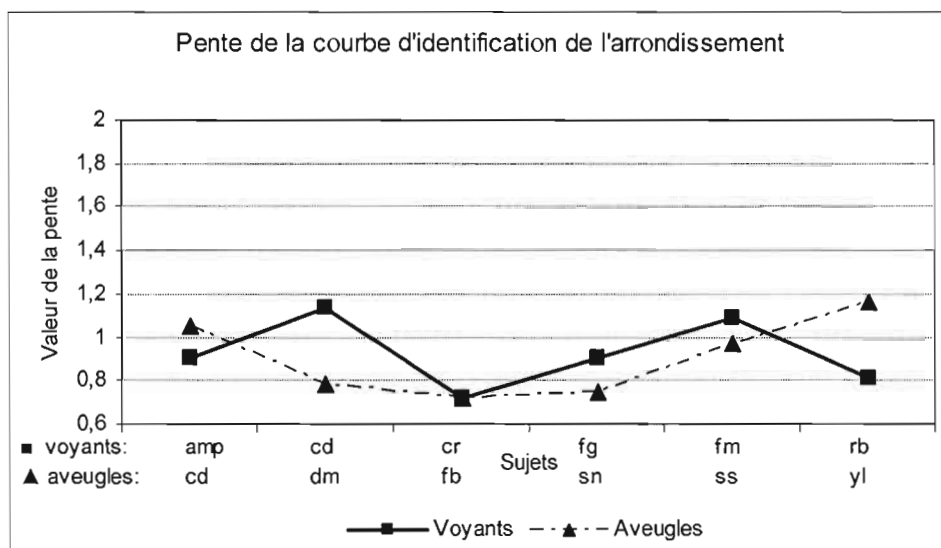


Figure 5.16 Pentes des courbes d'identification du contraste arrondi vs non arrondi pour chacun des sujets et chacun des groupes.

Les figures 5.17 et 5.18 illustrent respectivement la distribution individuelle des moyennes d'aire des percepts antérieurs arrondis et des percepts antérieurs non arrondis. Si beaucoup de variabilité individuelle est présente chez les sujets voyants pour les percepts antérieurs arrondis (les moyennes d'aire varient entre 6,13 Bark<sup>2</sup> et 12,96 Bark<sup>2</sup>), dont la moyenne est de 8,64 Bark<sup>2</sup>, les données des sujets aveugles, dont la moyenne est de 7,02 Bark<sup>2</sup>, sont plutôt uniformes. Une ANOVA à un facteur a révélé qu'il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes de sujets.

L'espace perceptif accordé aux voyelles antérieures non arrondies est plus grand que celui accordé aux voyelles antérieures arrondies puisque la moyenne d'aire des sujets voyants est de 9,73 Bark<sup>2</sup> et de 9,15 Bark<sup>2</sup> chez les sujets aveugles; la différence entre les deux groupes n'est toutefois pas significative.

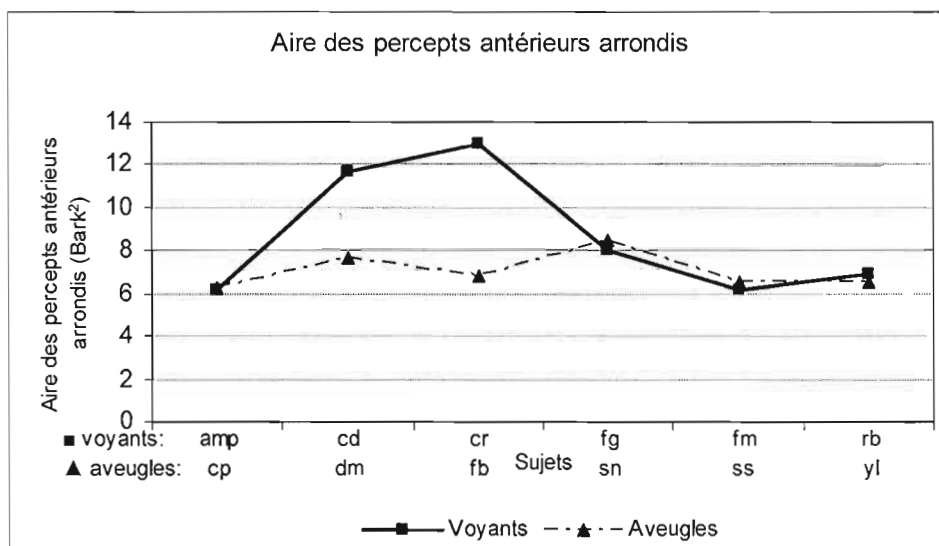


Figure 5.17 Aire des ellipses des percepts antérieurs arrondis (en  $\text{Bark}^2$ ) calculée dans le plan F1-F0 versus F2-F1 pour chacun des sujets.

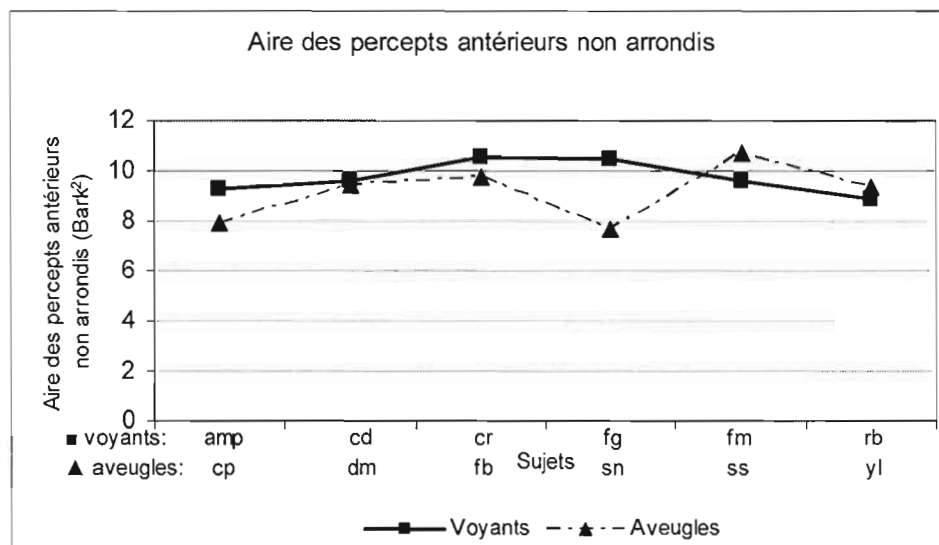


Figure 5.18 Aire des ellipses des percepts antérieurs non arrondis (en  $\text{Bark}^2$ ) calculée dans le plan F1-F0 versus F2-F1 pour chacun des sujets.

#### 5.2.4 Discussion

À la lumière des résultats au test d'identification de voyelles synthétisés présentés jusqu'à présent au cours de ce chapitre, bien peu de preuves vont dans le sens d'une différence de perception entre les sujets voyants et les sujets aveugles, que ce soit une supériorité ou une

infériorité à l'égard de leurs habiletés perceptives, telle que préconisée par plusieurs auteurs présentés au chapitre 3. L'examen des pentes et des aires des différentes catégories vocaliques, qui sont des indices du caractère catégoriel de leur perception, a révélé deux tendances : d'une part, les sujets aveugles présentent des pentes légèrement moins abruptes que les sujets voyants et ce, pour tous les contrastes étudiés. D'autre part, à l'exception des ellipses des voyelles ouvertes, les sujets aveugles présentent des ellipses perceptives de plus petite taille que les sujets voyants.

La figure 5.19 présente les moyennes de toutes les frontières d'identification étudiées par groupe de sujets. Comme nous l'avons mentionné tout au long de notre exposé des résultats, aucune différence inter-groupe significative n'a été trouvée, sauf celle de la frontière des percepts mi-ouverts versus ouverts.

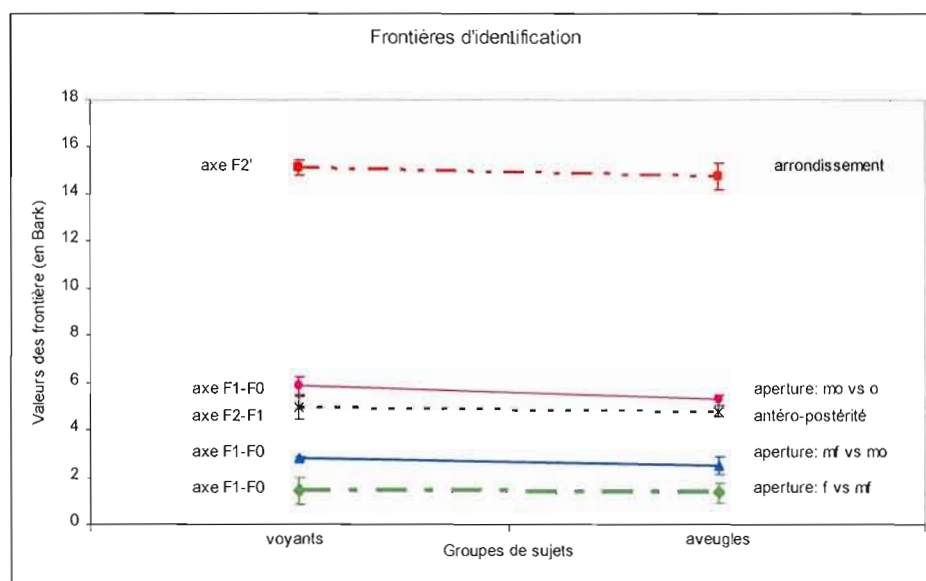


Figure 5.19 Frontières d'identification moyennes (en Bark) par groupe de sujets pour tous les contrastes étudiés; les barres d'erreur sont tracées à  $\pm 1$  écart-type.

Ainsi, sur le plan de l'identification de voyelles synthétisées comprises dans les espaces F1-F0 versus F2-F1 et F1-F0 versus F2' (en Bark), nos données semblent montrer que l'accès ou non à la vision n'influence pas la perception de nos sujets de façon significative. La prochaine section et le prochain chapitre nous permettront toutefois de vérifier si la cécité interfère plutôt dans les habiletés de discrimination des sujets et/ou dans leurs façons de produire les contrastes à l'étude.

### 5.3 Résultats issus du test de discrimination de voyelles synthétisées comprises dans des continua acoustiques

La description des résultats du test de discrimination de voyelles synthétisées comprises dans continua acoustiques d'aperture (de [i] à [e]), de lieu d'articulation (de [y] à [u]) et d'arrondissement (de [i] à [y]), est basée sur l'analyse des pics de discrimination. Ces derniers, rappelons-le, correspondent à la capacité maximale d'un sujet à discriminer la différence entre deux stimuli consécutifs à l'intérieur d'un continuum acoustique donné.

#### 5.3.1 Discrimination de différences d'aperture

Aux figures 5.20 et 5.21 se trouvent les taux de discrimination correcte des sujets voyants (seules les données de 4 sujets sur 6 ont pu être dépouillées) et des sujets aveugles pour les stimuli du continuum d'aperture de [i] à [e].

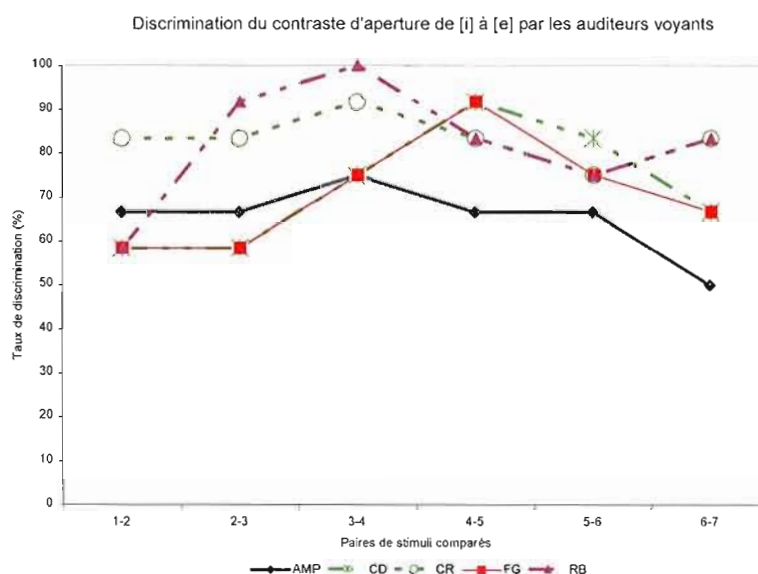


Figure 5.20 Pourcentages de discrimination correcte pour le continuum d'aperture de [i] à [e] des sujets voyants.



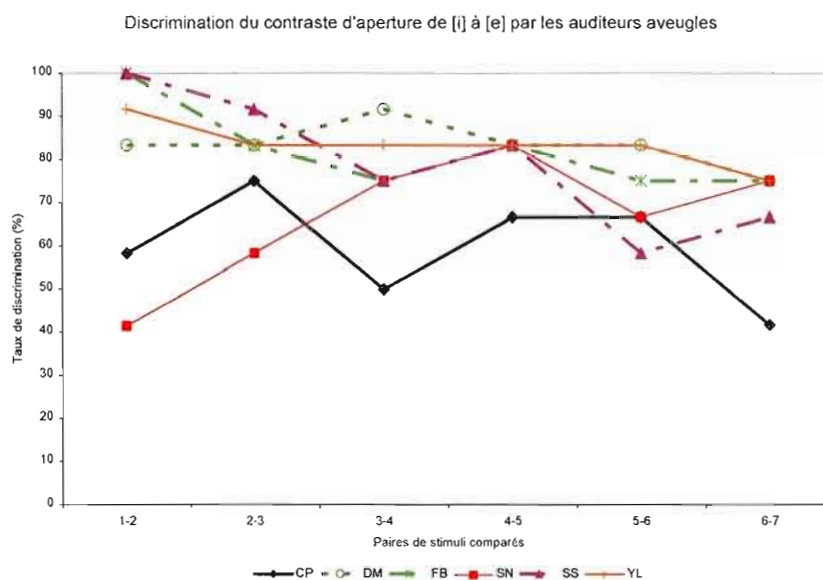


Figure 5.21 Pourcentages de discrimination correcte pour le continuum d'aperture de [i] à [e] des sujets aveugles.

À la figure 5.22 sont présentées les moyennes des pics de discrimination du contraste d'aperture de [i] à [e] de chacun des groupes de sujets. Les deux groupes de sujets présentent sensiblement le même pic de discrimination de l'aperture, qui se situe à environ 90% de discrimination. Une ANOVA à un facteur a révélé qu'il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes de sujets à cet égard.

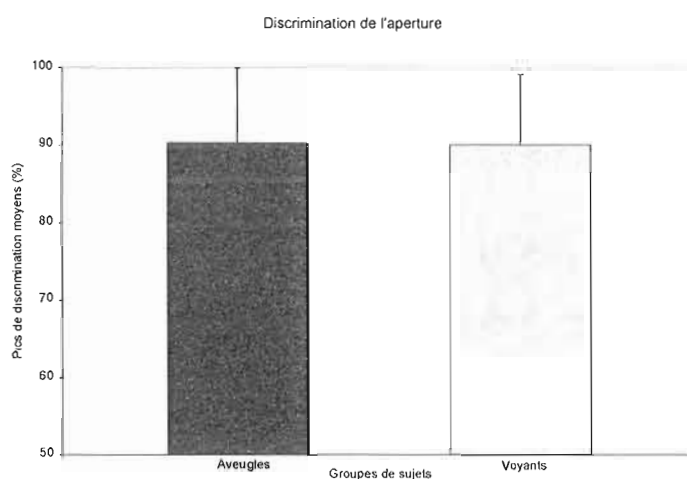


Figure 5.22 Comparaison des pics de discrimination d'aperture (continuum de [i] à [e]) des 2 groupes de sujets.

### 5.3.2 Discrimination de différences de lieu d'articulation

Les figures 5.23 et 5.24 présentent les taux de discrimination individuels, respectivement des sujets voyants et des sujets aveugles, pour le continuum de lieu d'articulation de [y] à [u].

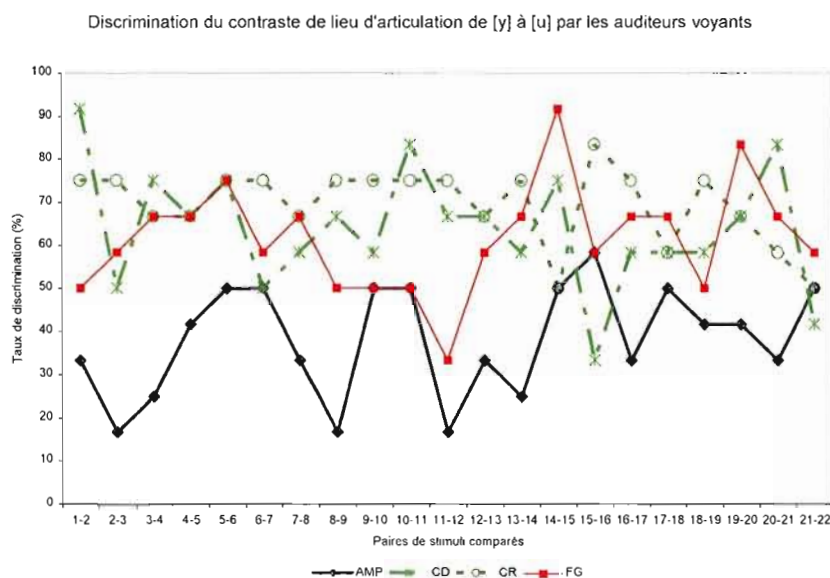


Figure 5.23 Pourcentages de discrimination correcte pour le continuum de lieu d'articulation [y] à [u] des sujets aveugles.

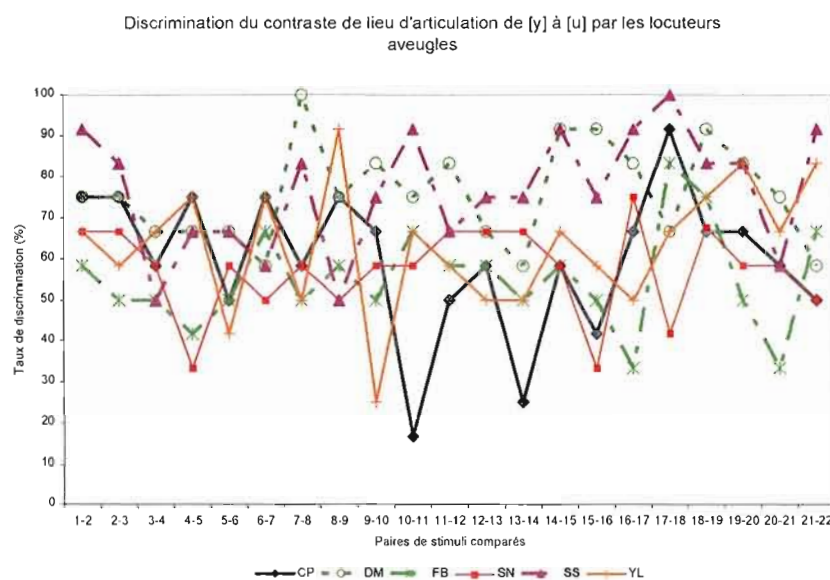


Figure 5.24 Pourcentages de discrimination correcte pour le continuum de lieu d'articulation de [y] à [u] des sujets voyants.

À la figure 5.25 sont présentées les moyennes des pics de discrimination du contraste de lieu d'articulation de [y] à [u] de chacun des groupes de sujets. Les sujets aveugles présentent une moyenne de pic de discrimination de 90,3%, alors que celle des sujets voyants est de 81,3%. Une ANOVA à un facteur a révélé qu'il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes de sujets.

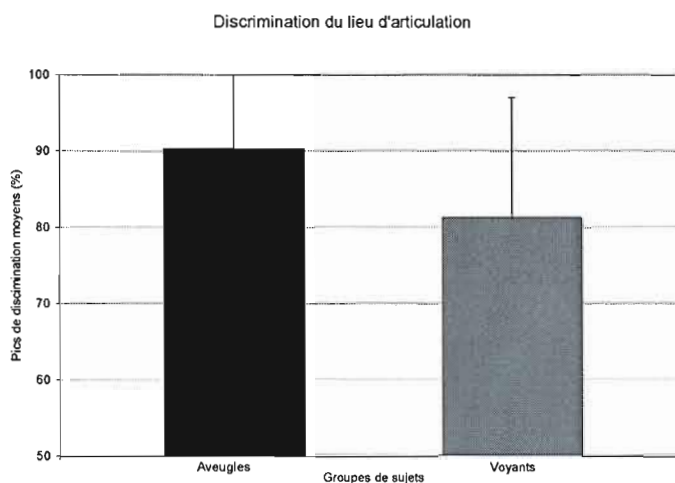


Figure 5.25 Comparaison des pics de discrimination du lieu d'articulation (continuum de [y] à [u]) des 2 groupes de sujets.

### 5.3.3 Discrimination de différences d'arrondissement

Les figures 5.26 et 5.27 illustrent les taux individuels de discrimination du contraste d'arrondissement de [i] à [y], respectivement chez les sujets voyants et chez les sujets aveugles.

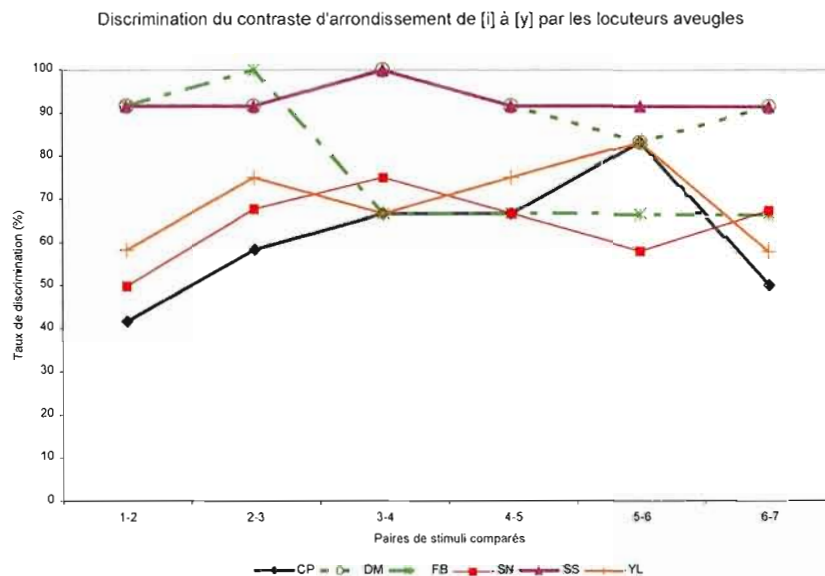


Figure 5.26 Pourcentages de discrimination correcte pour le continuum d'arrondissement de [i] à [y] des sujets aveugles.

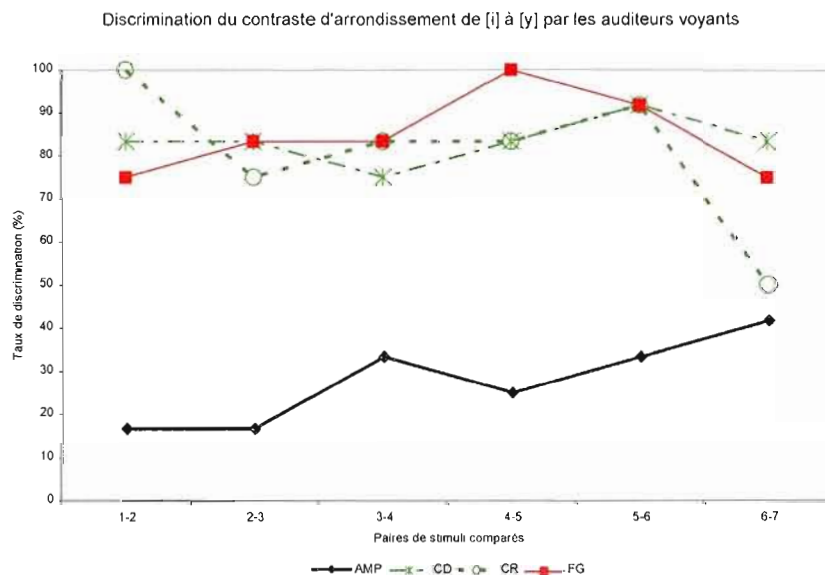


Figure 5.27 Pourcentages de discrimination correcte pour le continuum d'arrondissement de [i] à [y] des sujets voyants.

À la figure 5.28 sont présentées les moyennes des pics de discrimination du contraste d'arrondissement de [i] à [y] de chacun des groupes de sujets. Les sujets aveugles présentent une moyenne de pic de discrimination de 90,3%, alors que celle des sujets voyants est de

83,3%. Une ANOVA à un facteur a révélé qu'il n'y avait pas de différence significative entre les 2 groupes de sujets.

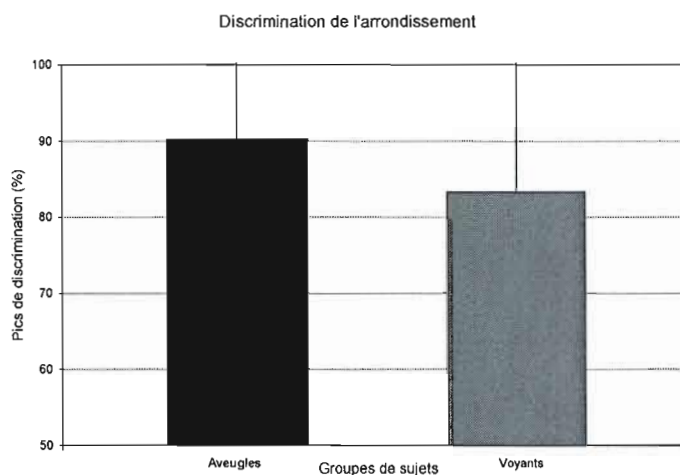


Figure 5.28 Comparaison des pics de discrimination d'arrondissement (continuum de [i] à [y]) des 2 groupes de sujets.

#### 5.3.4 Discussion

Globalement, nous avons vu qu'aucune différence significative ne ressortait entre les taux de discrimination des sujets voyants et des sujets aveugles et ce, pour les contrastes d'aperture, de lieu d'articulation et d'arrondissement. Nous observons toutefois une légère tendance des sujets aveugles à présenter des pics de discrimination égaux (aperture) ou supérieurs (lieu d'articulation et arrondissement) à ceux des sujets voyants. Ces résultats du test de discrimination constituent néanmoins une preuve additionnelle de l'égalité de la perception des sujets aveugles et des sujets voyants.

## CHAPITRE VI

### ANALYSE DES TRAPÈZES VOCALIQUES ACOUSTIQUES ET AUDITIFS PRODUITS

Ce chapitre vise d'abord à répondre à notre objectif de description acoustique du trapèze vocalique formé par les ellipses de dispersion des 11 voyelles orales du français québécois produites par nos 6 locuteurs aveugles et nos 6 locuteurs voyants. Cet objectif sous-tendant l'investigation des différences acoustiques des productions des deux groupes de sujets et de l'importance qu'ils accordent respectivement à la rétroaction auditive, nous proposons d'abord l'examen individuel et comparatif des trapèzes vocaliques présentés dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) dans la condition normale et dans la condition avec bruit. Si l'hypothèse selon laquelle certains aveugles présenteraient un contrôle moteur des articulateurs visibles et non visibles légèrement différent de celui des voyants dû à leur développement unimodal de la parole s'avérait vraie, nous pourrions nous attendre à ce que leurs manœuvres articulatoires aient des répercussions différentes de celles des voyants sur le plan acoustique. D'autre part, si c'étaient davantage au niveau perceptif que se manifestaient des différences entre les deux groupes de sujets, nous pourrions nous attendre à ce que les productions vocaliques des aveugles atteignent des cibles auditives légèrement différentes dans l'espace perceptif F1-F0 versus F2-F1 (en Bark). Aussi, les indices acoustiques étant les seules informations sur la base desquelles sont construites les représentations perceptives des locuteurs aveugles, nous pouvons supposer que, dans une perspective de répartition du poids informationnel et de la préservation de la communication, ces représentations soient mieux internalisées et que leurs productions soient plus résistantes au bruit. Nous proposons alors une description individuelle des productions de chacun des sujets dans le plan acoustico-auditif et ce, pour les deux conditions de bruit.

Les discussions proposées sur les représentations acoustico-articulatoires et perceptuo-auditives des productions de chacun des sujets concernent essentiellement la taille de l'AVS, l'aire des ellipses de dispersion, l'ampleur des distances euclidiennes entre les contrastes d'aperture, de lieu d'articulation et d'arrondissement et la nature des voyelles se chevauchant dans l'espace discuté. À l'issue de cet examen des trapèzes vocaliques, nous devrions donc avoir un portrait de l'organisation des voyelles produites par chacun des sujets, portrait que nous chercherons ultérieurement à relier aux caractéristiques perceptives de ces mêmes participants.

## 6.1 Description acoustique des voyelles produites

Au cours des prochaines sections sont discutés individuellement les trapèzes vocaliques de tous les sujets dans le plan F1 versus F2 (en Hertz). Afin de neutraliser les écarts acoustiques induits par des différences anatomiques reliées au sexe des sujets, nous présentons systématiquement les productions des sujets de sexe féminin séparément de celles des sujets de sexe masculin.

### 6.1.1 Trapèzes vocaliques des sujets de sexe féminin présentés dans le plan acoustique F1 versus F2 (en Hertz)

Nous décrivons d'abord l'organisation acoustique individuelle des productions des locutrices voyantes. Sont ensuite présentés les trapèzes vocaliques des locutrices aveugles. Les différences physiologiques tout de même présentes entre des locuteurs de même sexe et les choix articulatoires personnels nous empêchent de regrouper les données de toutes les locutrices, c'est pourquoi nous avons plutôt recours à des calculs individuels de proportions de variation de certains paramètres acoustiques en fonction de la condition de bruit (AVS, distances euclidiennes) afin de pouvoir proposer des tendances inter-groupes et inter-conditions.

#### 6.1.1.1 Locutrices voyantes

La figure 6.1 illustre la dispersion des voyelles produites par la locutrice voyante AMP dans les deux conditions de bruit. Nous remarquons que l'AVS de cette locutrice n'est que peu



influencé par la condition avec bruit; son AVS dans la condition normale est de 841 Hz et il subit une légère diminution de 1,66% dans la condition avec bruit, pour atteindre une valeur de 827 Hz.

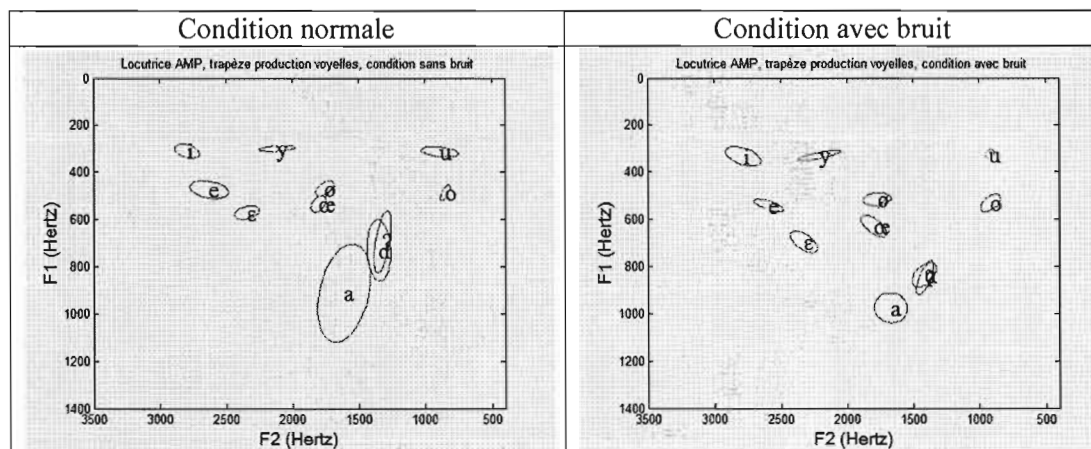


Figure 6.1 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) des productions de la locutrice voyante AMP effectuées dans les 2 conditions de bruit.

Si la moyenne des distances euclidiennes mesurées entre toutes les fréquences centrales de cette locutrice est peu affectée par la condition de bruit, l'examen des distances euclidiennes mesurées entre les voyelles s'opposant sur un trait vocalique en particulier révèle certaines tendances; les distances euclidiennes (pour les 2 conditions, en Hertz et en Bark) de chacun des sujets sont présentées en annexe E. Par exemple, nous observons une diminution systématique des distances euclidiennes entre les voyelles antérieures s'opposant sur la base du trait d'arrondissement ([i y], [e ø], [œ œ]) dans la condition avec bruit, de même que de celles des voyelles mi-fermées et mi-ouvertes s'opposant sur la base du trait d'antéro-postériorité ([y ø], [ø œ], [u o], [o œ]). Les voyelles s'opposant sur la base du trait d'aperture ont quant à elles toutes tendance à s'éloigner acoustiquement les unes des autres dans la condition avec bruit, sauf la paire [e a].

La mention de la nature des voyelles se chevauchant dans l'espace acoustique est également pertinente car la présence d'un tel recoupement est souvent indicatrice de grandes aires d'ellipses et de distances euclidiennes réduites. Par contre, avant d'émettre tout commentaire sur la nature des voyelles se chevauchant dans l'espace acoustique, il convient de mentionner que nous avons décidé a posteriori de ne pas tenir compte des recoupements

possibles des ellipses des voyelles [a ɔ]. En effet, nous avons remarqué que nos locuteurs du français québécois présentaient tous de tels chevauchements d'ellipses, causés par une instabilité de ces contrastes vocaliques en français québécois.

À la lumière de ce commentaire, nous ne mentionnons alors chez la locutrice voyante AMP que le chevauchement des ellipses des voyelles antérieures arrondies [ø œ], opposant les degrés d'aperture mi-fermé et mi-ouvert dans la condition normale. Ce chevauchement n'apparaît toutefois pas dans la condition avec bruit, bien que l'aire des 2 voyelles y augmente. C'est plutôt l'augmentation de leur distance euclidienne qui permet l'occupation exclusive de l'espace acoustique de chacune des ellipses dans la condition avec bruit.

Nous ne pouvons pas dire que l'introduction de bruit blanc ait une influence constante sur la taille des ellipses de cette locutrice, 5 d'entre elles présentant de plus grandes aires dans la condition normale ([u e ɔ a ɔ]) que dans la condition avec bruit ([i y ø o ε œ]).

À la figure 6.2 se trouvent les trapèzes vocaliques des productions de la locutrice voyante CR. Ce sont les productions de cette locutrice qui occupent le plus d'espace acoustique parmi tous les locuteurs et c'est également elle qui, proportionnellement, présente la plus importante diminution de la taille de son AVS dans la condition avec bruit. En effet, son AVS dans la condition normale est de 992 Hz et passe à 923 Hz dans la condition avec bruit, ce qui correspond à une diminution de 6,96%.

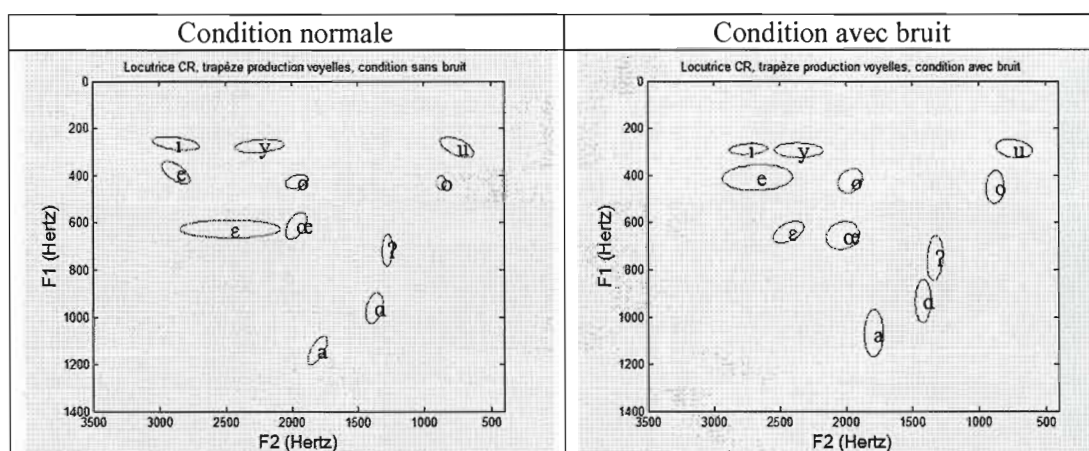


Figure 6.2 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) des productions de la locutrice voyante CR effectuées dans les 2 conditions de bruit.

Parmi les contrastes vocaliques qui nous intéressent, cette diminution importante de l'AVS peut être attribuable au rapprochement systématique des voyelles s'opposant sur la base du trait d'arrondissement dans la condition avec bruit ([i y], [e ø], [ɛ œ]). Aussi, les distances euclidiennes entre les voyelles [ø o] et [œ ɔ] se distinguant selon le lieu d'articulation demeurent relativement stables d'une condition à l'autre, alors que celle entre [y u] augmente dans la condition avec bruit. En ce qui a trait aux voyelles d'aperture différente, la condition avec bruit semble induire une augmentation de la plupart des distances euclidiennes ([i e], [y ø], [ø œ], [u o], [o ɔ]).

Mais l'influence la plus manifeste de la perturbation de la rétroaction auditive sur les productions de la locutrice CR est l'augmentation de la taille des ellipses produites dans la condition avec bruit. En effet, l'aire de toutes les voyelles produites sauf celle de [i] et de [ɛ] augmente considérablement dans la condition avec bruit. Malgré cette augmentation généralisée de la taille des ellipses, aucune paire d'ellipses ne se chevauche dans aucune des deux conditions de bruit, assurant ainsi un contraste acoustique de toutes les voyelles orales.

La locutrice voyante RB, dont nous pouvons voir les trapèzes vocaliques à la figure 6.3, présente un portrait acoustique différent. En effet, son AVS est de 868 Hz dans la condition normale et il passe à 850 Hz dans la condition avec bruit. Cette diminution de 2,07% de l'occupation de l'espace acoustique est notamment causée par le rapprochement systématique, dans la condition avec bruit, des voyelles antérieures se distinguant par le trait d'arrondissement ([i y], [e ø], [ɛ œ]). Bien que les distances entre les voyelles s'opposant sur le lieu d'articulation [y u] et [œ ɔ] augmentent dans la condition avec bruit, le rapprochement des voyelles antérieures s'opposant sur la base du trait d'arrondissement confère une forme plus étroite dans l'axe F2 à son trapèze vocalique tracé pour les productions effectuées dans le bruit.

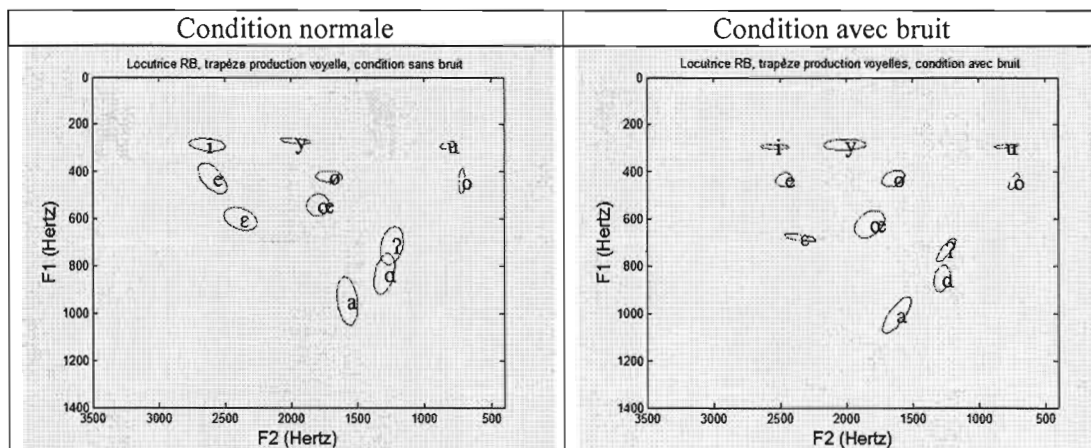


Figure 6.3 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) produits par la locutrice voyante RB dans les 2 conditions de bruit.

Les distances euclidiennes entre les voyelles mi-fermées et mi-ouvertes [e ε] et [o ɔ] demeurent stables d'une condition de bruit à l'autre, tandis que celles entre les fermées et les mi-fermées [i e] et [y ø] et entre la mi-fermée et la mi-ouverte [ø œ] augmentent, et celles entre [ε a] et [u o] diminuent.

Contrairement à la locutrice CR, l'aire de la plupart des ellipses de la locutrice RB ([i u e o ε ɔ a]) est plus grande dans la condition normale, si ce n'est celle des antérieures arrondies [y ø œ] qui sont plus grandes dans la condition avec bruit.

#### 6.1.1.2 Locutrices aveugles

À la figure 6.4 se trouvent les ellipses des voyelles produites par la locutrice aveugle DM. Cette dernière présente des AVS nettement plus élevés que celui des autres locutrices aveugles; dans la condition normale, il est de 974 Hz et il diminue de 3,29% dans la condition avec bruit pour atteindre une valeur de 942 Hz.

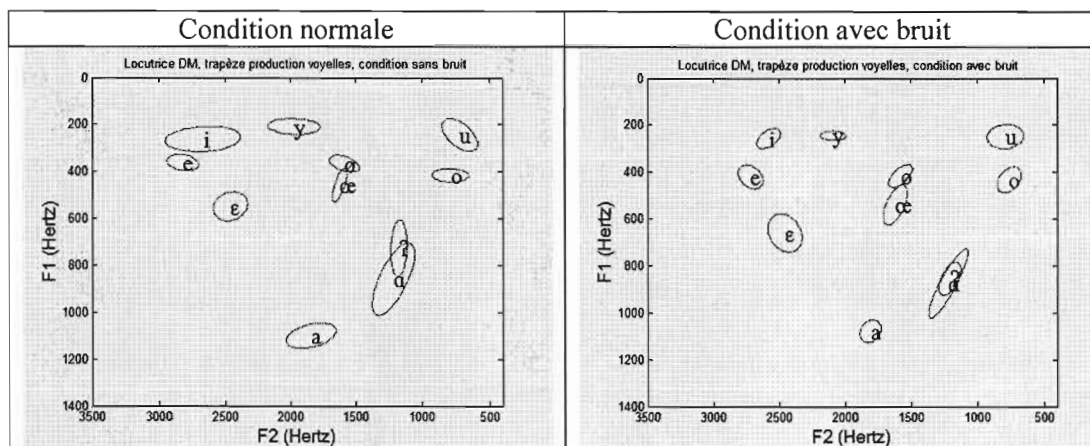


Figure 6.4 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) des productions de la locutrice aveugle DM dans les 2 conditions de bruit.

Cette diminution globale de l'AVS provient notamment de la diminution marquée des distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur la base du trait d'arrondissement ([i y] et [e ø]). Elles augmentent cependant entre les voyelles de lieu d'articulation différent [y u] et [ø o] qui s'opposent sur la base du trait d'aperture. En ce qui a trait aux distances euclidiennes entre les contrastes d'aperture, nous remarquons que dans les 2 conditions de bruit, la distance qui sépare les antérieures arrondies d'aperture différente [ø œ] n'est pas suffisante pour que les ellipses se présentent de façon distincte dans l'espace acoustique. Aussi, toutes les distances euclidiennes impliquant des voyelles d'aperture différente augmentent dans la condition avec bruit, sauf celles entre [e ɛ] et [ɛ a].

Finalement, nous remarquons que l'aire de la plupart des voyelles produites par cette locutrice est plus élevée dans la condition normale que dans la condition avec bruit. Les voyelles cardinales [i y u a] manifestent notamment toutes cette tendance.

Examinons maintenant les trapèzes vocaliques de la locutrice aveugle FB présentés à la figure 6.5. Dans la condition normale, l'AVS de la locutrice aveugle FB est de 779 Hz; il diminue de 3,72% dans la condition avec bruit pour atteindre une valeur de 750 Hz.

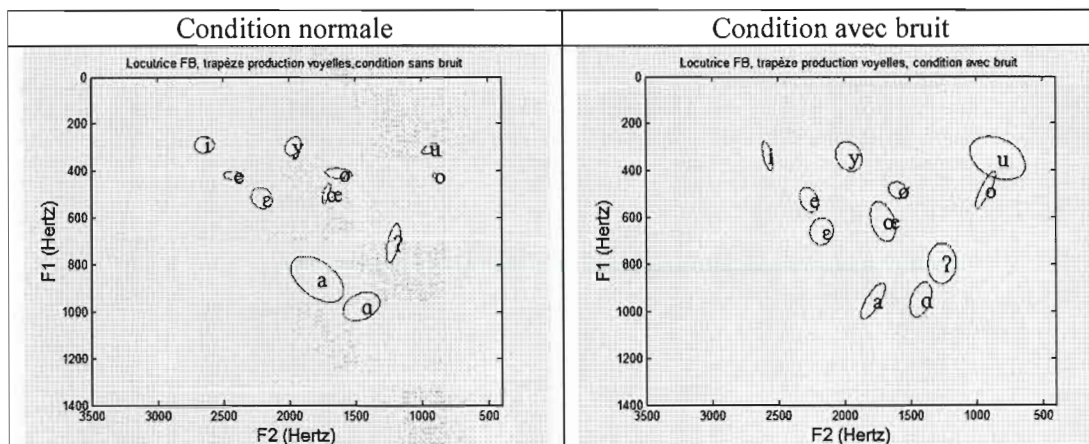


Figure 6.5 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) des productions de la locutrice aveugle FB effectuées dans les 2 conditions de bruit.

Une influence assez claire de la condition de bruit apparaît dans la variation des distances euclidiennes de cette locutrice. En effet, les distances euclidiennes entre ses productions de voyelles s'opposant sur la base du trait d'arrondissement et sur le lieu d'articulation (sauf [y u]) diminuent systématiquement dans la condition avec bruit. D'autre part, toutes les paires de voyelles s'opposant sur la base du trait d'aperture voient la distance qui les sépare augmenter dans la condition avec bruit, sauf la paire d'antérieures [e ε].

Si la distance euclidienne entre [u o] augmente de la condition sans bruit à la condition avec bruit, l'augmentation notable de l'aire des ellipses de [u] et de [o] entraîne leur chevauchement dans cette dernière condition. D'ailleurs, cette locutrice présente une importante augmentation de l'aire de la plupart de ses ellipses dans la condition avec bruit; seules [i a ɔ] présentent des aires plus élevées dans la condition sans bruit.

C'est la locutrice aveugle SS qui présente le plus petit AVS parmi tous les sujets de sexe féminin. Ses trapèzes vocaliques apparaissent à la figure 6.6, où nous pouvons voir que son AVS dans la condition normale est de 756 Hz et qu'il diminue de 5,69% dans la condition avec bruit pour atteindre une valeur de 713 Hz.



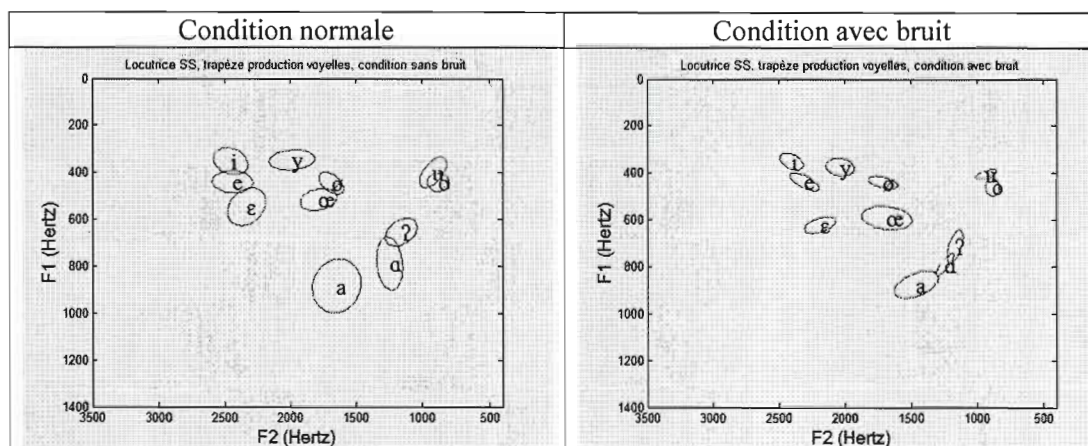


Figure 6.6 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) des productions de la locutrice aveugle SS effectuées dans les 2 conditions de bruit.

Alors que la moyenne des distances euclidiennes entre toutes les fréquences centrales des voyelles s'opposant sur la base du trait arrondissement produites diminue dans la condition avec bruit, l'examen des distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur la base du trait de lieu d'articulation et d'aperture révèle l'augmentation de la plupart des distances dans la condition avec bruit (sauf entre [œ ɔ] et [ɛ a]). La petitesse des distances entre les voyelles d'aperture différente dans la condition normale explique sans doute le chevauchement de nombreuses paires d'ellipses s'opposant sur ce trait : [i e], [e ɛ], [ø œ] et [u o]. Par contre, en ce qui a trait aux voyelles antérieures s'opposant sur la base du trait d'arrondissement, nous en remarquons un rapprochement acoustique systématique dans la condition avec bruit.

Mais ce qui est le plus frappant dans l'examen des trapèzes vocaliques de cette locutrice est sa forte tendance à produire des voyelles dont l'aire est plus élevée dans la condition normale que dans la condition avec bruit; en effet, seule la voyelle [œ] fait exception.

#### 6.1.1.3 Remarques sur les productions des sujets de sexe féminin voyants versus aveugles

À l'issue de l'examen sommaire des trapèzes vocaliques de ces 6 sujets de sexe féminin, la tendance la plus généralisée est celle de la diminution systématique de la taille de l'AVS de

la condition normale à la condition avec bruit. En effet, cette diminution varie entre 1,66% et 6,96% de la valeur de l'AVS mesurée dans la condition normale. Il semblerait donc que, devant la perturbation de leur rétroaction auditive, ces participantes ne parviennent pas à couvrir la totalité de la surface acoustique qui leur est propre en condition normale. Par conséquent, les voyelles qu'elles produisent en condition avec bruit sont globalement légèrement moins distinctes les unes des autres, puisque les locutrices ne peuvent moduler leur production à l'aide de la rétroaction auditive. Ces résultats sont conformes à ceux observés par Lane et al. (2001). Sans rétroaction auditive, les contrastes sont moins distincts et les voyelles, plus centralisées. Le tableau 6.1 présente notamment les données individuelles des sujets de sexe féminin relatives à la variation de leur AVS selon la condition de bruit.

Tableau 6.1

Comparaison de l'aire des ellipses, du nombre d'ellipses se chevauchant et de l'AVS de chacune des locutrices en fonction de la condition de bruit

Indices de dispersion:			Aire des ellipses			Paires d'ellipses se chevauchant			AVS (Hz)			
Conditions de bruit:			Sans	vs	Avec	Sans	vs	Avec	Sans	vs	Avec	Variation (%)
Locutrices	Voyantes	AMP	5 [u e ɔ a a]	<	6 [i y ø o ε œ]	1 [ø œ]	>	0	841	>	827	↓1,66
		CR	2 [i e]	<	9 [y u e ø o œ ɔ a a]	0	=	0	992	>	923	↓6,96
		RB	8 [i u e o ε ɔ a a]	>	3 [y ø œ]	0	=	0	868	>	850	↓2,07
	Aveugles	DM	7 [i y u ø ɔ a a]	>	4 [e o ε œ]	1 [ø œ]	=	1 [ø œ]	974	>	942	↓3,29
		FB	3 [i a a]	<	8 [y u e ø o ε œ ɔ]	0	<	1 [u o]	779	>	750	↓3,72
		SS	10 [i y u e ø o ε ɔ a a]	>	1 [œ]	4 [i e], [e ε], [ø œ], [u o]	>	1 [u o]	756	>	713	↓5,69



Les locutrices voyantes présentent de plus grands AVS que 2 des 3 locutrices aveugles, et ce, dans les deux conditions de bruit. En fait, les locutrices aveugles FB et SS présentent des AVS nettement plus petits que ceux des locutrices voyantes, alors que ceux de la locutrice aveugle DM sont sensiblement de la même taille que ceux de la locutrice voyante CR. À ce stade-ci de notre analyse, nous ne pouvons dire si cette tendance des locutrices aveugles à présenter des AVS plus petits que ceux des locutrices voyantes relève de caractéristiques physiologiques, de facteurs perceptifs ou de stratégies articulatoires individuelles, mais il sera intéressant de revenir à cette observation lors de l'analyse des trapèzes vocaliques présentés dans la dimension auditivo-perceptive F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) et de celle de la perception des voyelles par ces sujets.

Nous remarquons également que parmi les locutrices voyantes, la variation de l'AVS la plus importante causée par la condition de bruit se produit chez la locutrice CR, qui présente aussi les plus grands AVS. Nous sommes tentés de postuler que, dans le cadre de la tendance de toutes les locutrices à produire des contrastes globalement moins éloignés acoustiquement les uns des autres induite par la perturbation de leur rétroaction auditive, la locutrice CR puisse « sacrifier » davantage d'espace acoustique que les autres sujets, avant que les contrastes qu'elle produit ne soient plus distincts les uns des autres. Il est à noter que cette même locutrice ne présente aucun chevauchement d'ellipses dans aucune des 2 conditions de bruit; nous croyons également que la supériorité globale de ses distances euclidiennes explique la séparation de ses ellipses.

D'un autre côté, parmi les participantes aveugles, c'est la locutrice SS qui manifeste la plus grande diminution d'AVS de la condition normale à la condition avec bruit, alors que c'est également elle qui présente les plus petits AVS. S'il est vrai que c'est dans ses productions de la condition normale que nous retrouvons le plus grand nombre de chevauchements d'ellipses, la perturbation de sa rétroaction auditive donne lieu, au contraire, à un éloignement acoustique de ses paires de voyelles.

Toutes les locutrices aveugles présentent au moins une paire de voyelles se chevauchant dans l'espace acoustique alors que parmi les locutrices voyantes, seule AMP en présente une. Les ellipses se chevauchant les unes les autres partagent toutes une caractéristique commune, à savoir qu'elles font intervenir des voyelles s'opposant sur la base

du trait d'aperture. Il est donc possible que la proximité acoustique de certains contrastes d'aperture (particulièrement celle de [ø œ]) chez les locutrices aveugles FB et SS soit due à leur occupation globalement plus restreinte de l'espace acoustique.

Le fait que la locutrice aveugle SS présente de nombreux chevauchements d'ellipses dans la condition normale est probablement relié à la taille de ses ellipses qui y est presque systématiquement plus grande que dans la condition avec bruit. La locutrice aveugle DM présente également elle aussi davantage d'aires d'ellipses de taille supérieure dans la condition normale que dans la condition avec bruit. Il semble donc qu'en présence de rétroaction auditive normale, ces deux locutrices aveugles se permettent davantage de variabilité acoustique et ce, particulièrement avec les voyelles cardinales [i y u a]. Nous pouvons donc faire l'hypothèse que devant un objectif d'intelligibilité et l'absence de rétroaction auditive, ces locutrices aveugles répètent les stratégies articulatoires les mieux internalisées, c'est-à-dire celles qui atteignent le plus précisément leurs cibles acoustiques.

Le tableau 6.2 présente les tendances individuelles observées dans l'augmentation, la diminution ou le maintien des distances euclidiennes en fonction de la condition de bruit et du trait vocalique étudié. Ainsi, la perturbation de la rétroaction auditive entraîne la diminution des distances euclidiennes entre les contrastes d'arrondissement dans les productions de toutes les locutrices. C'est donc dire que la manœuvre articulatoire d'arrondissement des lèvres est moins prononcée chez toutes les locutrices lorsqu'elles se trouvent dans la condition avec bruit. Aussi, pour les locutrices présentant des régularités quant à leur variation des distances euclidiennes relatives au contraste d'aperture (AMP, CR, FB, SS), nous remarquons que la perturbation de la rétroaction auditive (condition avec bruit) en entraîne l'augmentation. Cela expliquerait donc pourquoi la plupart des ellipses se chevauchant dans la condition normale sont séparées dans la condition avec bruit; dans cette dernière condition, ces sujets auraient comme stratégie articulatoire d'ouvrir davantage la bouche afin d'accentuer les distinctions d'aperture. En ce qui a trait aux distances euclidiennes entre les voyelles de lieu d'articulation différent, il n'y a pas de patron précis qui émerge de leurs variations en fonction de la condition de bruit.

Tableau 6.2

Variation des distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur le lieu d'articulation, l'aperture et l'arrondissement en fonction de la condition de bruit

Indices de dispersion:		Lieu d'articulation			Aperture			Arrondissement		
Conditions de bruit:		Sans	vs	Avec	Sans	vs	Avec	Sans	vs	Avec
Locutrices	Voyantes	AMP	>		<			>		
			2/3		6/7			3/3		
		CR	≤		<			>		
			3/3		5/7			3/3		
	Aveugles	RB	<		-			>		
			2/3					3/3		
		DM	≤		-			≥		
			3/3					3/3		
	Aveugles	FB	>		<			>		
			2/3		6/7			3/3		
	Aveugles	SS	<		≤			>		
			2/3		7/7			3/3		

En somme, nous constatons beaucoup de variabilité d'un sujet à l'autre, ce qui rend difficile l'énonciation de conclusions fortes quant aux différences entre les productions des locutrices voyantes et celles des locutrices aveugles, bien que quelques différences ponctuelles apparaissent. L'examen des trapèzes vocaliques des voyelles produites par les locuteurs de sexe masculin nous fournira des données qui pourront être regroupées à celles ci-haut présentées et qui permettront peut-être d'émettre des tendances d'organisation acoustique pour chacun des groupes de sujets.

#### 6.1.2 Trapèzes vocaliques des sujets de sexe masculin présentés dans le plan acoustique F1 versus F2 (en Hertz)

Les trapèzes vocaliques dans le plan acoustique F1 versus F2 (en Hertz) des productions de voyelles orales effectuées par les locuteurs voyants et aveugles seront présentés au cours des prochaines sections. De la même manière que pour les sujets de sexe féminin, nous proposons d'abord une analyse qualitative des différences entre les groupes de sujets et entre

les conditions de bruit à l'égard des variations de l'AVS, des distances euclidiennes et des recouvrements d'ellipses.

#### 6.1.2.1 Locuteurs voyants

Dans la condition sans bruit, l'AVS du locuteur voyant CD est de 672 Hz. Ce dernier diminue de 7,42% dans la condition avec bruit pour atteindre la valeur de 624 Hz, tel que le montre la figure 6.7.

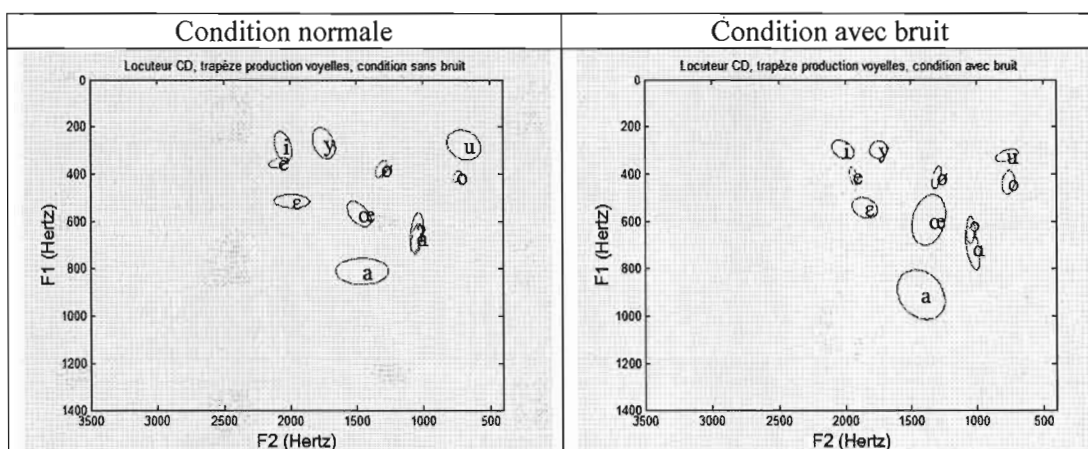


Figure 6.7 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) des productions vocaliques effectuées par le locuteur voyant CD dans les 2 conditions de bruit.

Devant la perturbation de sa rétroaction auditive, ce locuteur produit toujours des voyelles s'opposant sur la base du trait de lieu d'articulation et d'arrondissement plus proches acoustiquement les unes des autres que dans la condition normale, rendant alors son trapèze vocalique plus étroit sur l'axe de F2. Cette tendance au rapprochement des ellipses dans la condition avec bruit est même présente pour les paires de voyelles se distinguant selon le trait d'aperture, sauf pour 2 paires opposant les voyelles fermées et mi-fermées, [i e] et [y ø]. C'est d'ailleurs probablement grâce à l'augmentation de la distance entre [i e] dans la condition avec bruit que le chevauchement présent dans la condition normale ne ressurgit pas.

En ce qui a trait à la variation de la taille des ellipses dans le bruit, celles de [ø o e œ a ɑ] ont tendance à augmenter dans la condition avec bruit alors que celles des voyelles cardinales fermées [i y u] de même que celles de [e ɔ] diminuent.

À la figure 6.8 sont présentés les trapèzes vocaliques du locuteur voyant FG, dont l'AVS est de 668 Hz dans la condition normale; cette valeur diminue de 6,46% dans la condition avec bruit pour atteindre une valeur de 648 Hz.

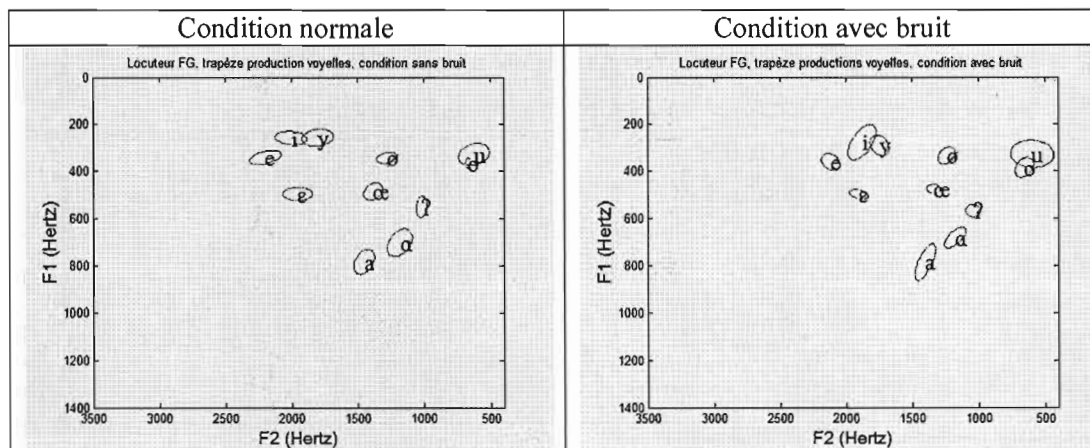


Figure 6.8 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) des productions vocaliques effectuées par le locuteur voyant FG dans les 2 conditions de bruit.

Nous assistons à une diminution systématique des distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur la base du trait d'arrondissement et d'articulation. Ces diminutions se manifestent essentiellement sur la dimension de F2 et confèrent donc une forme plus étroite au trapèze vocalique de ce locuteur dans la condition avec bruit. Il y a cependant plus de variabilité quant à l'influence du bruit sur les distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur la base du trait d'aperture, les distances entre [i e], [u o] et [o ɔ] augmentant, celle entre [ε a] demeurant stable et celle entre [e ε], [y ø] et [ø œ] diminuant. Bien que les distances euclidiennes entre [i y] et [u o] augmentent dans la condition avec bruit, le chevauchement de ces ellipses présent dans la condition normale demeure dans la condition avec bruit. Cela est peut-être causé par l'augmentation de la taille des ellipses de [i u ø o a]. Au contraire, l'aire des ellipses de [y e ε œ ɔ a] diminue dans la condition avec bruit.

FM est le seul locuteur voyant à ne pas voir la taille de son AVS diminuer dans la condition avec bruit. En effet, elle passe de 699 Hz dans la condition normale à 702 Hz dans la condition avec bruit, ce qui correspond à une augmentation de 0,43%, que nous considérons comme négligeable. Il est à noter que ce locuteur a manifesté particulièrement d'inconfort devant une forte intensité de bruit blanc de la condition avec bruit, nous forçant à

la diminuer; il est donc possible qu'il ait eu accès à davantage de rétroaction auditive. Les trapèzes vocaliques du locuteur voyant FM sont présentés à la figure 6.9.

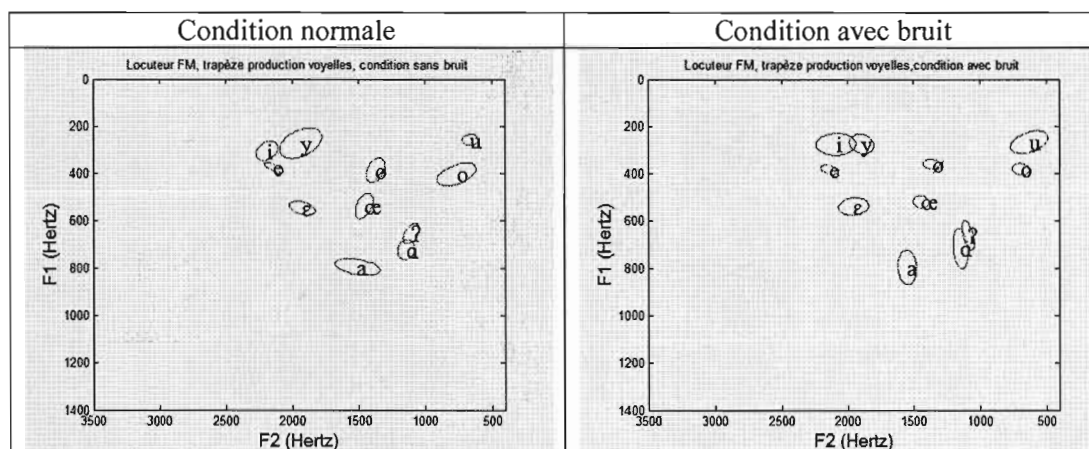


Figure 6.9 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) des productions vocaliques effectuées par le locuteur voyant FM dans les 2 conditions de bruit.

La distance euclidienne entre les voyelles [i y] diminue considérablement de la condition normale à la condition avec bruit, entraînant alors le chevauchement de ces ellipses s'opposant sur la base du trait d'arrondissement. Pour les deux autres contrastes d'arrondissement ([e ø] et [ε œ]), la condition de bruit amène plutôt l'augmentation de leur distance euclidienne. Il n'y a pas véritablement de patron de variation des distances euclidiennes pour les traits de lieu d'articulation et d'arrondissement, ni pour celle de l'aire des ellipses selon la condition de bruit; l'aire de 6 d'entre elles a augmenté dans la condition avec bruit ([i u e ε ɔ a]) et les 5 autres étaient plus élevées dans la condition normale ([y ø o œ a]).

#### 6.1.2.2 Locuteurs aveugles

L'AVS du locuteur aveugle CP passe de 668 Hz dans la condition sans bruit à 648 Hz dans la condition avec bruit, ce qui correspond à une diminution de 2,99%. Ses trapèzes vocaliques produits dans les 2 conditions de bruit se trouvent à la figure 6.10.

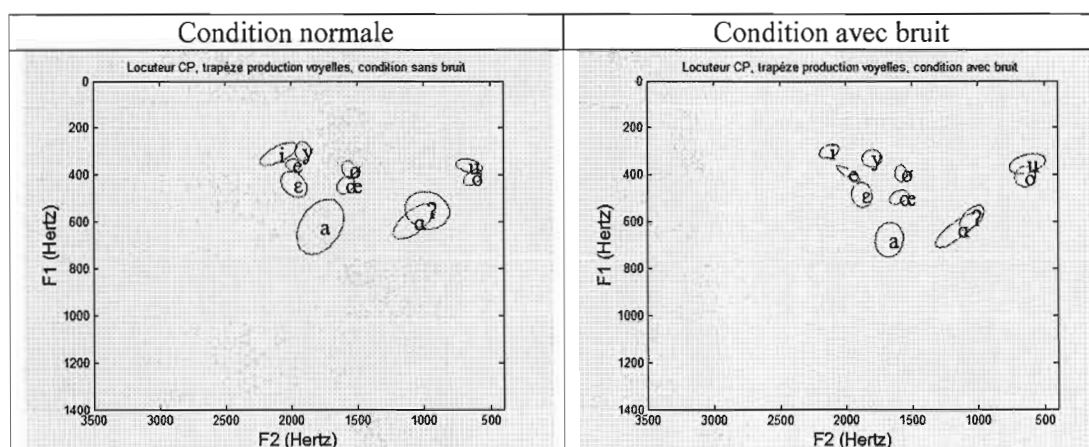


Figure 6.10 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) des productions vocaliques effectuées par le locuteur aveugle CP dans les 2 conditions de bruit.

Dans la condition normale, nous remarquons la proximité de nombreuses paires de voyelles, particulièrement entre celles d'aperture différente. Cette proximité se manifeste même par le chevauchement des ellipses [i y], [ø œ] et [u o]. Celles de [i y] et de [ø œ] se séparent toutefois dans la condition avec bruit, leur distance euclidienne respective ayant augmenté. D'ailleurs, il y a une forte tendance à l'augmentation des distances euclidiennes entre les voyelles d'aperture différente; seule celle entre [y ø] y fait exception. Ce sont ces distances euclidiennes inférieures et l'aire de plusieurs ellipses plus élevée ([i ø ε œ ɔ a α]) que dans la condition avec bruit ([y u e o]) qui donnent au trapèze vocalique du locuteur aveugle CP cet apparence compacte dans la condition normale.

Regardons maintenant les trapèzes vocaliques du locuteur aveugle SN à la figure 6.11. Son AVS passe de 661 Hz dans la condition normale à 663 Hz dans la condition avec bruit, ce qui représente une augmentation négligeable de 0,30%.

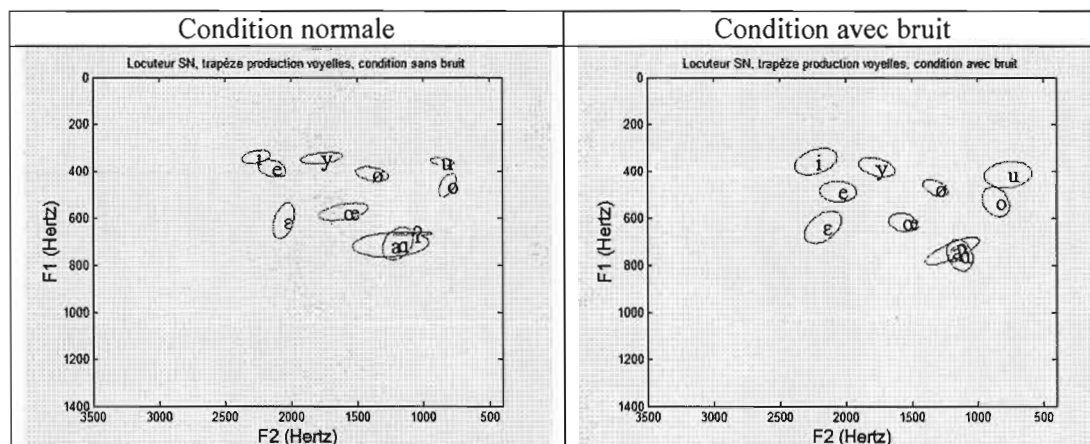


Figure 6.11 Trapèzes vocaliques dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) des productions vocaliques effectuées par le locuteur aveugle SN dans les 2 conditions de bruit.

Si globalement la grandeur de l'AVS de ce sujet n'est pas véritablement affectée par la condition de bruit, les variations individuelles des distances euclidiennes d'une condition à l'autre sont pourtant bien présentes. C'est-à-dire qu'entre les voyelles s'opposant sur la base du trait d'arrondissement, 2 paires présentent une diminution de leurs distances euclidiennes ([i y] et [e ø]), alors que [ε œ] en présente une hausse. En ce qui a trait au lieu d'articulation, les distances entre [ø o] et [œ ɔ] diminuent, et celle entre [y u] augmente. Toutes les distances euclidiennes relatives au contraste d'aperture augmentent dans la condition de bruit, sauf celle entre [e ε]. Aussi, nous remarquons une augmentation notable de l'aire de [i y u e o ε ɔ] dans la condition avec bruit, alors que celle de [ø œ a ɑ] est plus élevée dans la condition sans bruit.

C'est le locuteur aveugle YL, dont les trapèzes vocaliques se trouvent à la figure 6.12, qui présente le plus petit AVS parmi tous les locuteurs. Malgré cela, c'est tout de même lui qui présente la diminution la plus grande dans la condition de bruit. Son AVS est de 543 Hz dans la condition normale et diminue de 7,55% dans la condition avec bruit pour atteindre une valeur de 503 Hz.



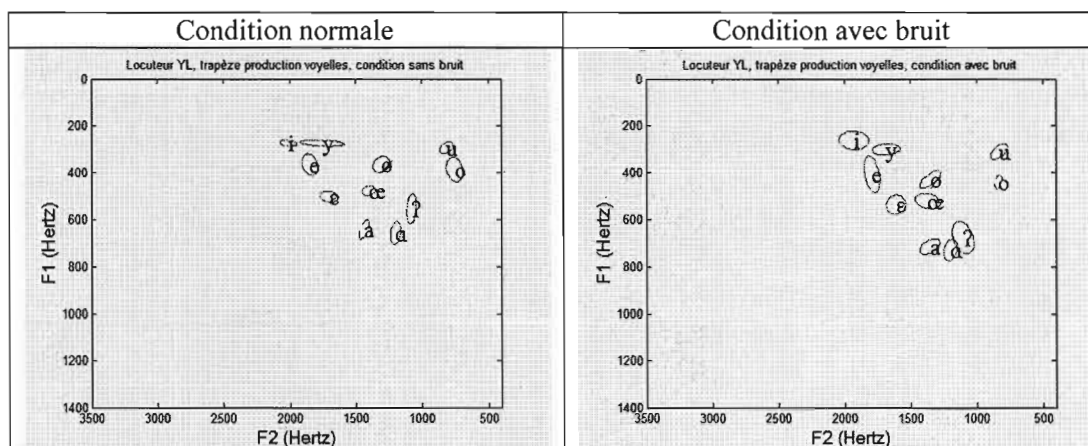


Figure 6.12    Trapèzes vocaliques dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) produits par le locuteur aveugle YL dans les 2 conditions de bruit.

Bien que son AVS soit de taille restreinte, il ne présente tout de même aucun chevauchement d'ellipses dans aucune des 2 conditions. Ce locuteur présente des régularités quant à la variation des distances euclidiennes en fonction du bruit. Ainsi, les distances euclidiennes des voyelles s'opposant sur la base du trait d'arrondissement et de lieu d'articulation diminuent systématiquement dans la condition avec bruit. Pour ce qui est des voyelles d'aperture différente, les antérieures non arrondies et les postérieures voient leurs distances euclidiennes augmenter dans le bruit ([o ɔ] reste stable), alors que les antérieures arrondies voient leurs distances euclidiennes diminuer.

L'influence du bruit est aussi très nette en ce qui a trait à la variation de l'aire des ellipses. L'aire de toutes les voyelles augmente dans la condition avec bruit sauf celle des mi-fermées [ø] et [o].

### 6.1.2.3 Remarques sur les productions des sujets de sexe masculins voyants versus aveugles

À l'intérieur de chacun des groupes de participants de sexe masculin, 2 sujets sur 3 présentent une diminution de leur AVS de la condition normale à la condition avec bruit de l'ordre de 2,99% à 7,55%. Quant aux 2 autres sujets, ils présentent des variations négligeables de leur AVS. Nous pouvons alors affirmer que chez les locuteurs de sexe masculin, lorsque la taille

de leur AVS est perturbée par la condition de bruit, cette perturbation se manifeste globalement par une diminution de la moyenne des distances euclidiennes. Aussi, notons que les locuteurs aveugles présentent des AVS plus petits que ceux des sujets voyants et ce, dans les deux conditions de bruit. Ici non plus, nous ne pouvons dire si cette différence est attribuable à la physiologie des sujets, à des facteurs perceptifs ou à des choix articulatoires, mais nous y reviendrons ultérieurement.

Toutefois, le locuteur aveugle YL retient notre attention puisqu'il présente un AVS nettement plus petit que celui des autres sujets dans la condition normale. Malgré son occupation restreinte de l'espace acoustique a priori, c'est lui qui démontre la plus grande diminution de son AVS dans la condition avec bruit. Et si ses productions dans cette condition sont moins précises, se manifestant par l'augmentation de l'aire de la plupart de ses ellipses, elles demeurent toutes suffisamment distinctes pour ne jamais se chevaucher.

Il n'y a pas de tendance de groupe qui ressort quant au nombre ou à la nature des chevauchements d'ellipses. Si nous observons une prédominance de chevauchement d'ellipses s'opposant sur la base du trait d'aperture ([u o] et [ø œ]), des recoupements entre voyelles antérieures s'opposant sur la base du trait d'arrondissement ([i y]) sont également trouvés.

De plus, il semblerait que l'aire des voyelles produites par les locuteurs voyants est moins influencée par la condition avec bruit que les sujets aveugles, environ la moitié de leurs ellipses subissant une augmentation de leur aire et l'autre une diminution. Chez les sujets aveugles, deux tendances ressortent. La première est celle du sujet CP, qui produit davantage de contrastes imprécis dans la condition normale que dans la condition avec bruit. Le second implique les sujets SN et YL qui, au contraire, devant la perturbation de leur rétroaction auditive, ne parviennent plus à atteindre la plupart de leurs cibles acoustiques avec autant de précision que dans la condition normale, tel que détaillé au tableau 6.3.

Tableau 6.3  
 Comparaison de l'aire des ellipses, du nombre d'ellipses se chevauchant et de l'AVS de  
 chacun des locuteurs en fonction de la condition de bruit

Chaque des locuteurs en fonction de la condition de bruit												
Indices de dispersion:			Aire des ellipses			Paires d'ellipses se chevauchant			AVS (Hz)			
Conditions de bruit:			Sans	vs	Avec	Sans	vs	Avec	Sans	vs	Avec	Variation (%)
Locuteurs	Voyants	CD	5 [i y u e ɔ]	<	6 [ø o ε æ a ɑ]	1 [i e]	>	0	672	>	624	↓7,42
		FG	6 [y e ε æ ɔ ɑ/	>	5 [i u ø o a]	2 [i y], [u o]	≈	2 [i y], [u o]	696	>	658	↓6,46
		FM	5 [y ø o æ a]	<	6 [i u e ε ɔ a]	0	<	1 [i y]	699	≈	702	↑0,43
	Aveugles	CP	7 [i ø ε æ ɔ a ɑ]	>	4 [y u e o]	3 [i y], [ø æ] [u o]	>	1 [u o]	668	>	648	↓2,99
		SN	4 [ø æ a ɑ]	<	7 [i y u e o ε ɔ]	0	=	0	661	≈	663	↑0,30
		YL	2 [ø-o/	<	9 [i y u e ε æ ɔ a ɑ]	0	=	0	543	>	502	↓7,55

Le locuteur voyant FM démontre une variation des distances euclidiennes des traits d'arrondissement et de lieu d'articulation inverse à celle de tous les autres sujets de sexe masculin. En effet, chez les 5 autres sujets, nous observons un patron récurrent quant à la diminution des distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur l'arrondissement, et entre celles s'opposant sur le lieu d'articulation. Par contre, en ce qui a trait à l'aperture, pour les 2 sujets voyants qui présentent une régularité dans leur variation des distances euclidiennes (CD et FM), une tendance à la diminution des distances euclidiennes est trouvée, alors que nous en observons une augmentation chez les sujets aveugles. Le tableau 6.4 présente ces tendances de variations des distances euclidiennes en fonction de la condition de bruit.

Tableau 6.4

Variation des distances euclidiennes permettant d'opposer les voyelles produites selon les traits de lieu d'articulation, d'aperture et d'arrondissement en fonction de la condition de bruit.

Traits vocaliques :		Lieu d'articulation			Aperture			Arrondissement		
Conditions de bruit:		Sans	vs	Avec	Sans	vs	Avec	Sans	vs	Avec
Locutrices	Voyantes	CD	>	3/3	>	5/7	>	>	3/3	
		FG	>	3/3	-		>	>	3/3	
		FM	<	2/3	≥	5/7	<	<	2/3	
	Aveugles	CP	>	2/3	<	6/7	>	>	2/3	
		SN	>	2/3	<	6/7	>	>	2/3	
		YL	>	3/3	≤	5/7	>	>	3/3	

Ces tendances suggèrent donc que les locuteurs utilisent moins la manœuvre d'arrondissement des lèvres versus celle d'étirement pour marquer acoustiquement les contrastes entre voyelles arrondies et non arrondies. De la même façon, le déplacement de la langue en position antérieure ou postérieure n'est pas autant exploité en condition avec bruit qu'en condition normale pour produire les contrastes d'antéro-postériorité. Finalement, en ce qui a trait à l'utilisation des manœuvres d'ouverture ou de fermeture de la bouche, 2 sujets voyants (CD et FM) semblent moins les marquer dans la condition avec bruit que dans la condition normale, alors que c'est le contraire qui se produit chez les locuteurs aveugles.

#### 6.1.3 Remarques sur les productions des participants du groupe de sujets voyants versus du groupe de sujets aveugles

À la lumière de l'examen des trapèzes vocaliques issus des productions de chacun des 12 sujets dans les deux conditions de bruit, nous avons pu montrer que nos sujets de sexe féminin présentent des AVS de plus grande taille que les sujets de sexe masculin et ce, dans les deux conditions de bruit. Ce constat est évidemment relié à la physiologie phonatoire des

hommes et des femmes, les hommes présentant des conduits vocaux plus grands que celui des femmes, donnant lieu à des formants plus bas, donc à une occupation de la région supérieure droite du plan acoustique F1 versus F2 (Ladefoged, 2001).

La figure 6.13 illustre aussi notre remarque relative au fait que la plupart des sujets aveugles présentent des AVS plus petits que ceux des sujets voyants et ce, dans les deux conditions de bruit. Étant donné la variabilité individuelle présente au sein des sujets de même sexe et de même groupe et la petitesse des différences observées entre les AVS des deux groupes, il serait prématuré de suggérer que ces productions vocaliques légèrement moins distinctes les unes des autres effectuées par les sujets aveugles puissent relever de facteurs reliés à leur cécité. Toutefois, il sera intéressant, au cours des prochaines sections, de vérifier si cette différence est conservée sur le plan auditif et reliée à des comportements perceptifs particuliers aux 2 groupes.

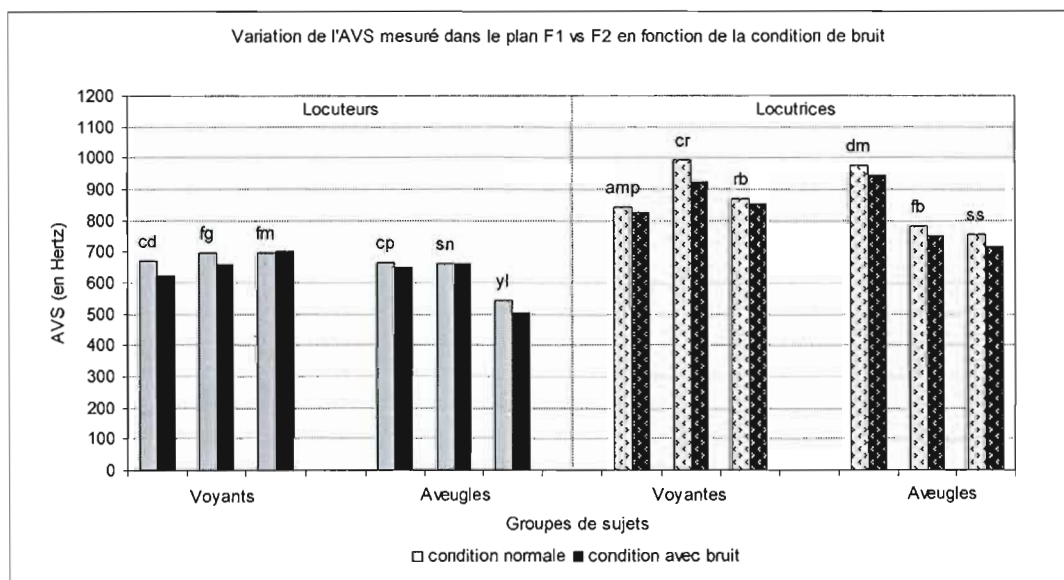


Figure 6.13 AVS (en Hertz) de chacun des sujets dans les 2 conditions de bruit.

De plus, la perturbation de la rétroaction auditive entraîne chez la plupart des sujets une réduction de la taille de l'AVS. Globalement, cette réduction de l'AVS n'est pas très grande, mais l'examen plus spécifique de la modification des distances euclidiennes entre les voyelles de lieu d'articulation, d'aperture et d'arrondissement différents fait ressortir certains comportements articulatoire-acoustiques. La figure 6.14 présente les proportions de variation des distances euclidiennes de la condition normale à la condition avec bruit. Pour les figures

6.14, 6.15 et 6.16, une valeur négative sur le graphique correspond alors à une diminution de la distance euclidienne de la condition normale à la condition avec bruit. Nous remarquons que les sujets voyants présentent une diminution proportionnellement plus importante de la distance euclidienne entre les voyelles [i y] de la condition normale à la condition avec bruit, qui résulterait d'une distinction plus marquée entre les manœuvres d'arrondissement des lèvres lorsque leur rétroaction auditive est perturbée que les sujets aveugles.

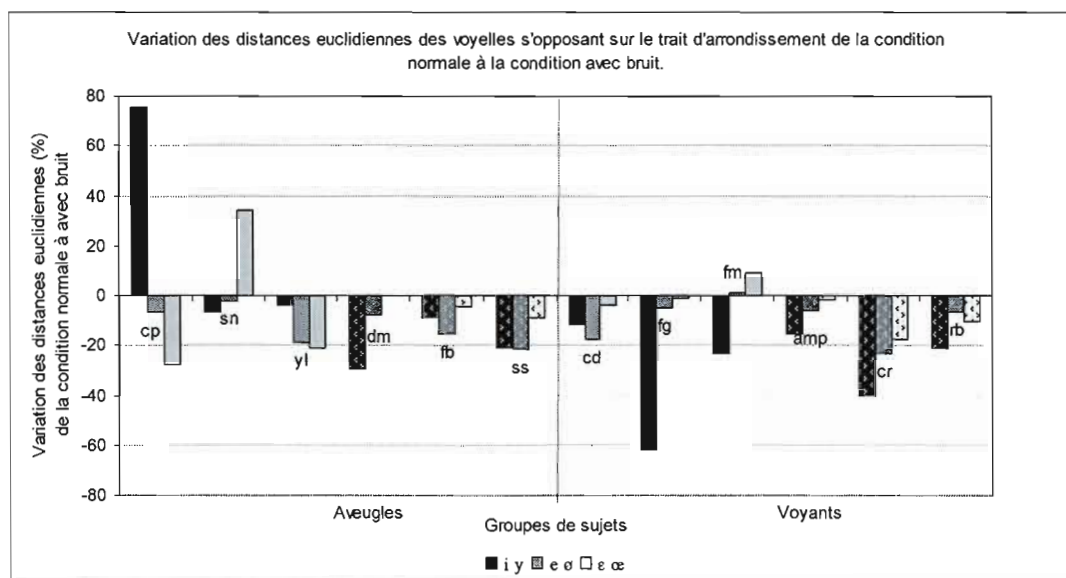


Figure 6.14 Variation (en %) des distances euclidiennes des voyelles antérieures s'opposant sur la base du trait d'arrondissement de la condition normale à la condition avec bruit.

D'autre part, il y a beaucoup de variabilité quant à la variation des contrastes d'aperture en fonction de la condition de bruit, mais lorsqu'il y a régularité, celle-ci se manifeste par une augmentation des distances euclidiennes, la stratégie des locuteurs étant d'accentuer les manœuvres articulatoires d'ouverture ou de fermeture de la bouche. La figure 6.15 présente les variations des distances euclidiennes des voyelles s'opposant sur la base du trait d'aperture.

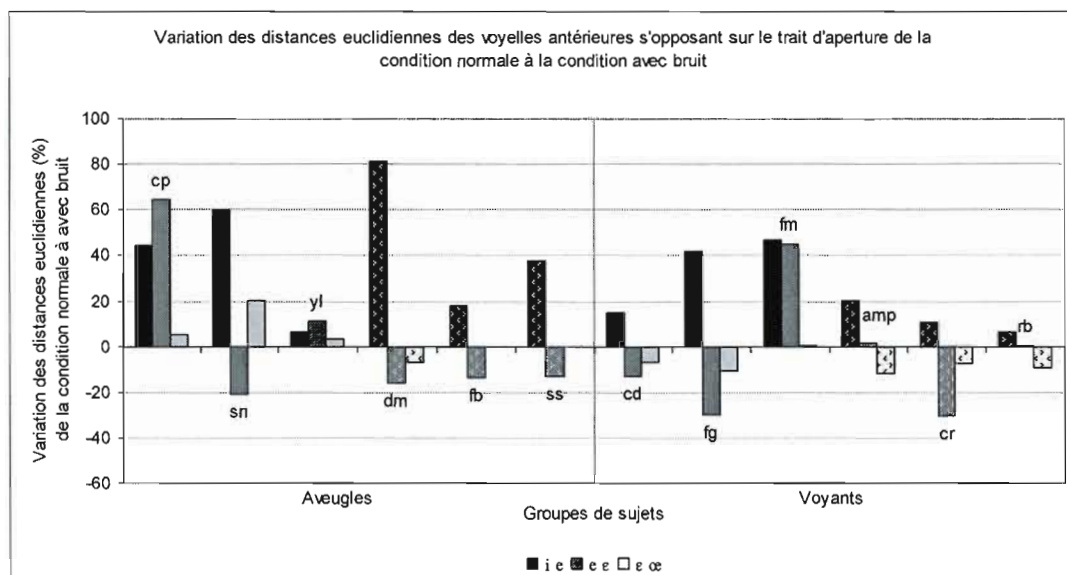


Figure 6.15 Proportion (en %) de la variation des distances euclidiennes entre les voyelles antérieures s'opposant sur la base du trait d'aperture, de la condition normale à la condition avec bruit.

À la figure 6.16 sont présentées les variations de distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur la base du trait d'aperture engendrées de la condition normale à la condition avec bruit. La tendance générale ressortant de ce graphique est l'augmentation des distances euclidiennes entre les contrastes de lieu d'articulation différent. Cette tendance est généralisée pour les contrastes [œ ɔ] et [ø o], alors que la distance entre [y u] tend davantage à diminuer en l'absence de rétroaction auditive. L'examen des variations des distances euclidiennes pour les traits d'aperture, d'arrondissement et de lieu d'articulation est cohérent avec celui de la variation de l'AVS d'une condition à l'autre. En effet, si globalement, l'effet de la privation de rétroaction auditive sur l'AVS est une légère diminution, il n'est pas étonnant de trouver une complémentarité entre la variation observée pour les 3 traits étudiés : une diminution des distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur la base du trait d'arrondissement, une augmentation des distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur la base des traits d'aperture et de lieu d'articulation (sauf pour les contrastes [e ε] et [y u]).



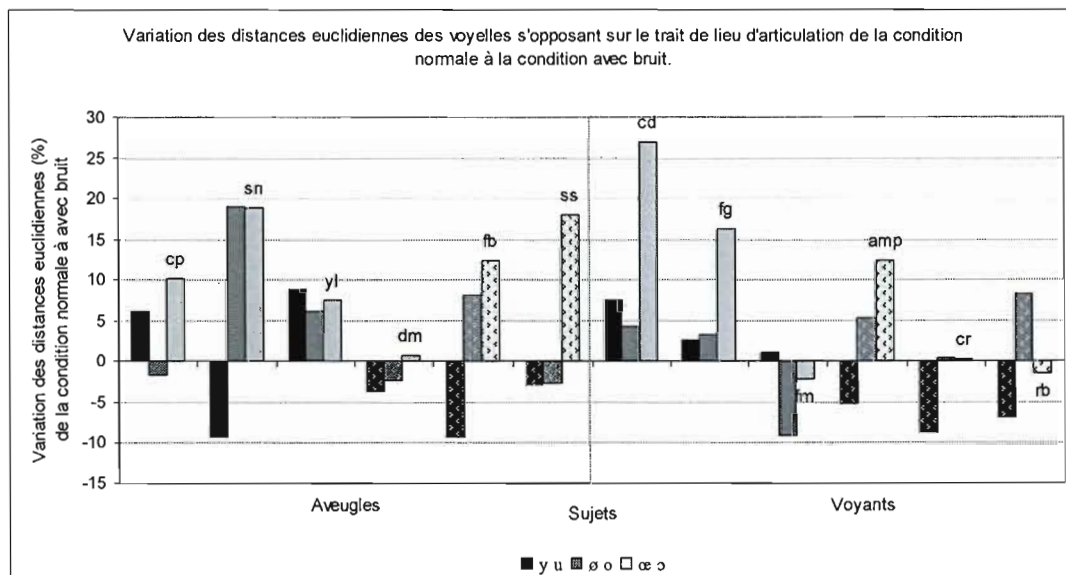


Figure 6.16 Proportion (en %) de la variation des distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur la base du trait d'antéro-posteriorité, de la condition normale à la condition avec bruit.

Toute condition de bruit confondue, nous remarquons tout de même que ce sont surtout les contrastes d'aperture qui donnent lieu à des chevauchements d'ellipses, bien que quelques chevauchements relatifs à l'arrondissement soient aussi présents chez les sujets de sexe masculin. Cependant, il n'y a pas de patron de groupe ou de condition qui émerge quant au nombre de paires d'ellipses se chevauchant trouvées. En ce qui a trait à la perturbation de l'aire des ellipses en fonction du bruit, il n'y a pas de tendances générales, mais ce pourra être intéressant ultérieurement de relier les comportements individuels d'augmentation (CR, FB, SN, YL) et de diminution (RB, DM, SS, CP) d'aire d'ellipses dans la condition avec bruit aux conséquences auditives engendrées.

Finalement, cette première description acoustique des productions de nos 12 participants dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) donne lieu à un constat général de variabilité. C'est dans cette perspective qu'est intéressante l'étude de leur trapèze vocalique dans le plan F1-F0 versus F2-F1 (en Bark), puisque nous pourrions mesurer dans un espace auditif l'atteinte des cibles internes auditives une fois les stratégies articulatoires neutralisées.



## 6.2 Description des voyelles produites dans une perspective auditive

Au cours des prochaines sections, ce sont les trapèzes vocaliques issus des productions vocaliques effectuées dans les 2 conditions de bruit présentés dans le plan auditivo-perceptif F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) qui sont discutés. De la même manière que pour les trapèzes acoustiques présentés dans le plan F1 versus F2 (en Hertz), nous présentons les données des sujets de sexe féminin séparément de celles des sujets de sexe masculin. En plus de tenter d'établir des comparaisons entre l'organisation des productions des locutrices voyantes et aveugles, entre leurs propres productions dans les 2 conditions de bruit, nous comparerons également les tendances trouvées sur le plan auditivo-perceptif à celles trouvées sur le plan acoustico-articulatoire. Dans les tableaux résumant les tendances observées chez un sujet, l'astérisque « \* » marque justement une différence entre ces 2 plans d'analyse.

### 6.2.1 Trapèzes vocaliques des sujets de sexe féminin présentés dans le plan acoustico-auditif F1-F0 versus F2-F1 (en Bark)

#### 6.2.1.1 Locutrices voyantes

La figure 6.17 présente les trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) des productions des voyelles de la locutrice voyante AMP effectuées dans les 2 conditions de bruit. Son AVS dans la condition normale est de 4,55 Bark et il augmente de 1,54% dans la condition avec bruit pour atteindre une valeur de 4,62 Bark. Mentionnons que dans la dimension acoustico-articulatoire, l'AVS de cette locutrice avait plutôt diminué dans la condition avec bruit. Ce serait donc dire que les manœuvres articulatoires effectuées dans le bruit ont globalement permis d'atteindre des régions acoustiques plus rapprochées les unes des autres, mais que certains de ces espaces acoustiques correspondaient au contraire à des cibles auditives plus éloignées.

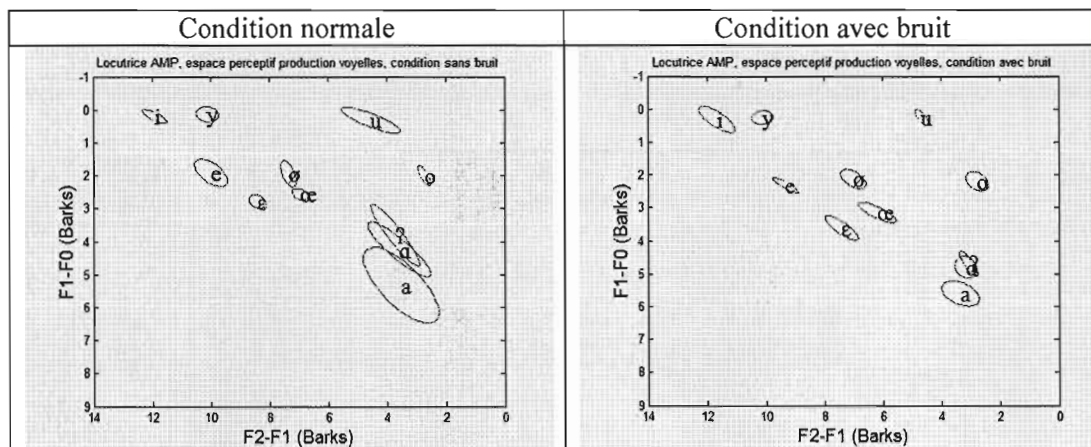


Figure 6.17 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) produits par la locutrice voyante AMP dans les 2 conditions de bruit.

Notre examen des contrastes de lieu d'articulation, d'arrondissement et d'aperture présentés en annexe E ne permet pas nécessairement d'en faire la démonstration puisque l'AVS est une moyenne de toutes les distances euclidiennes. Toutefois, l'augmentation marquée des distances euclidiennes entre les contrastes d'aperture dans la condition avec bruit (sauf celle entre [ɛ a]) va bel et bien dans ce sens.

Par contre, en ce qui a trait à la variation des distances euclidiennes entre les contrastes de lieu d'articulation ([y ø], [ø œ], [u o], [o ɔ]) et de d'arrondissement ([i y], [e ø], [ɛ œ]), les distances euclidiennes diminuent toutes dans la condition avec bruit (la distance entre [œ ɔ] demeure relativement stable). Aussi, toutes les cibles auditives possèdent leur espace auditif propre, c'est-à-dire que nous ne trouvons aucun chevauchement d'ellipses dans aucune des deux conditions de bruit. Autrement, la condition de bruit n'affecte pas particulièrement la précision de l'atteinte des cibles auditives par cette locutrice, dans la mesure où 6 voyelles présentent de plus grandes aires dans la condition normale ([y u e a ɔ]) que dans la condition avec bruit.

À la figure 6.18 se trouvent les trapèzes vocaliques des productions de la locutrice voyante CR. Si ce sont les productions de cette locutrice qui occupaient le plus d'espace acoustique, ce sont également elles qui occupent le plus d'espace auditif. En effet, son AVS

dans la condition normale est de 5,65 Bark et de 5,32 Bark dans la condition avec bruit, ce qui représente une diminution de 5,84%.

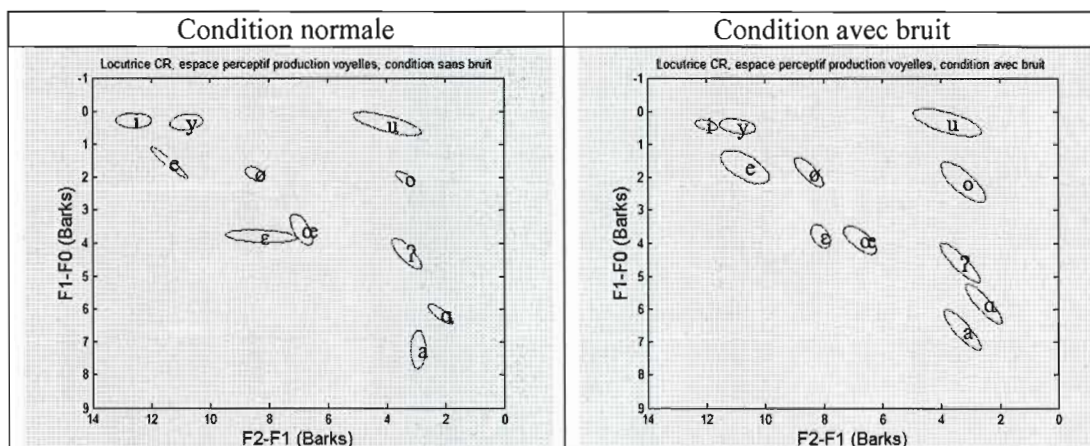


Figure 6.18 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) produits par la locutrice voyante CR dans les 2 conditions de bruit.

Aussi, si les distances acoustiques entre les contrastes de lieu d'articulation [ø o] et [œ ɔ] n'étaient pas véritablement influencées par la condition de bruit, l'analyse de leur modification sur le plan auditif en révèle respectivement l'augmentation et la diminution. Aussi, nous notons toujours une diminution systématique des distances euclidiennes entre les contrastes s'opposant sur la base du trait d'arrondissement. En ce qui a trait aux voyelles d'aperture différente, il n'y a pas de patron d'augmentation ou de diminution.

Tel que c'était le cas dans l'espace acoustique, l'influence de la perturbation de la rétroaction auditive se manifeste sur la taille des ellipses, qui augmente pour toutes les voyelles sauf [i ɛ] dans la condition avec bruit. Malgré la diminution de plusieurs distances euclidiennes et l'augmentation de l'aire de la plupart des ellipses, aucune paire d'ellipses ne se chevauche dans aucune des deux conditions de bruit.

Les trapèzes vocaliques de la locutrice voyante RB se trouvent à la figure 6.19. Dans la condition normale, son AVS est de 5,04 Bark et il demeure relativement stable dans la condition avec bruit, avec une valeur de 5,02 Bark, marquant une très mince diminution de 0,40%. Si globalement l'espace auditif n'est pas très influencé par le bruit, l'examen des distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur la base du trait d'arrondissement révèle une diminution systématique dans la condition avec bruit. De plus, les voyelles de 2

contrastes de lieu d'articulation ([ø o] et [œ ɔ]) s'approchent également les unes des autres dans la condition avec bruit. Les distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur la base du trait d'aperture ne varient pas nécessairement dans la même direction selon la condition de bruit, [i e], [ɛ a] et [u o] diminuant et celles entre [e ɛ], [y ø], [ø œ], et [œ ɔ] augmentant. Aucun chevauchement d'ellipses n'est présent chez cette locutrice.

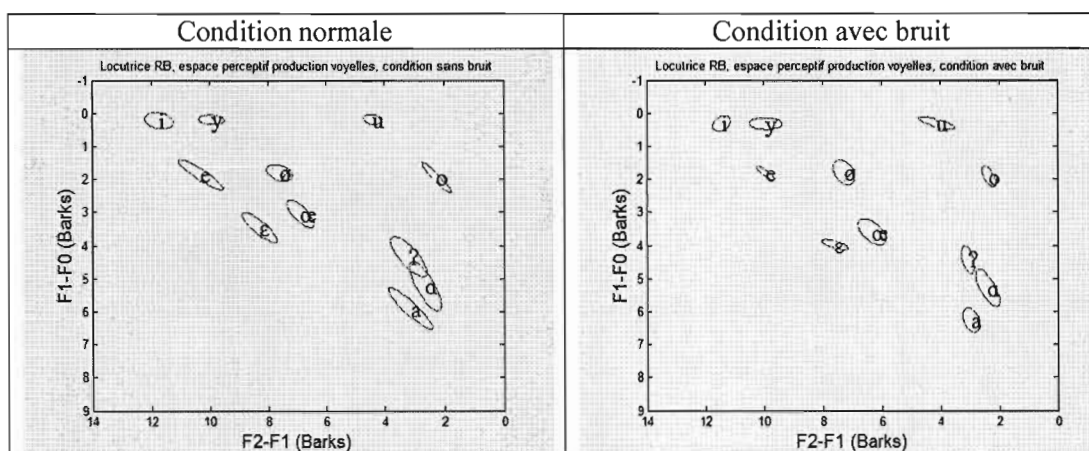


Figure 6.19 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) produits par la locutrice voyante RB dans les 2 conditions de bruit.

Nous remarquons que davantage d'ellipses présentent de plus grandes aires dans la condition normale ([i e o ɛ ɔ a]) que dans la condition avec bruit ([y u ø œ]).

#### 6.2.1.2 Locutrices aveugles

Les trapèzes vocaliques de la locutrice aveugle DM se trouvent à la figure 6.20. Son AVS dans la condition normale est de 5,54 Bark et demeure relativement stable dans la condition avec bruit avec une valeur de 5,51 Bark, représentant une très petite baisse de 0,54%.

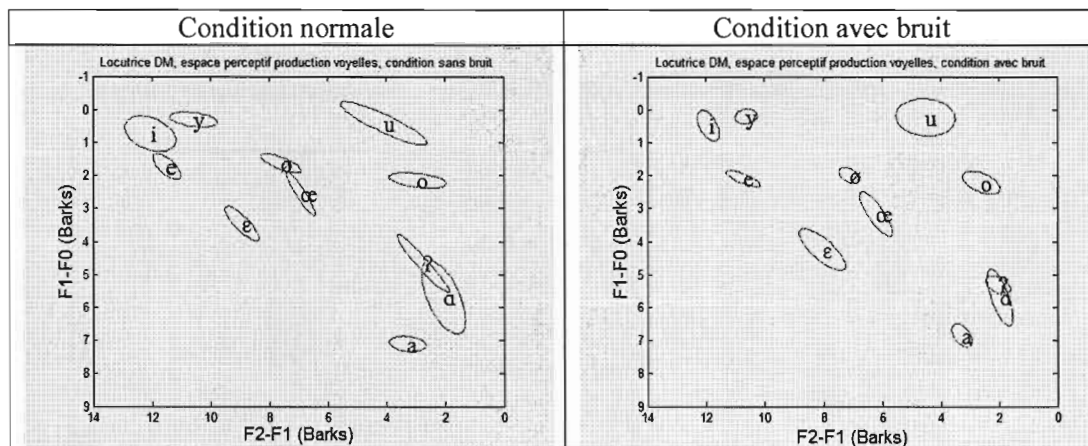


Figure 6.20 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) produits par la locutrice aveugle DM dans les 2 conditions de bruit.

Bien que cette différence ne soit globalement que très petite, nous observons toutefois une diminution systématique des différences euclidiennes entre les voyelles se différenciant sur le plan de l'arrondissement et du lieu d'articulation (sauf la distance entre [œ ɔ] qui demeure relativement stable). En ce qui a trait au contraste d'aperture, toutes les distances euclidiennes augmentent dans la condition avec bruit, sauf celle entre [ɛ a].

Un très léger chevauchement des ellipses [ø œ] est trouvé dans la condition normale, mais la diminution de l'aire de [ø] dans la condition avec bruit entraîne l'éloignement auditif des 2 voyelles. En effet, l'aire de 8 voyelles est plus élevée dans la condition normale ([i y e ø o ɔ a]) que dans la condition avec bruit ([u ɛ œ]).

Dans la condition normale, l'AVS de la locutrice aveugle FB est de 4,60 Bark. À la figure 6.21, nous pouvons observer que l'AVS de cette locutrice diminue de 3,91% dans la condition sans bruit pour atteindre une valeur de 4,42 Bark.



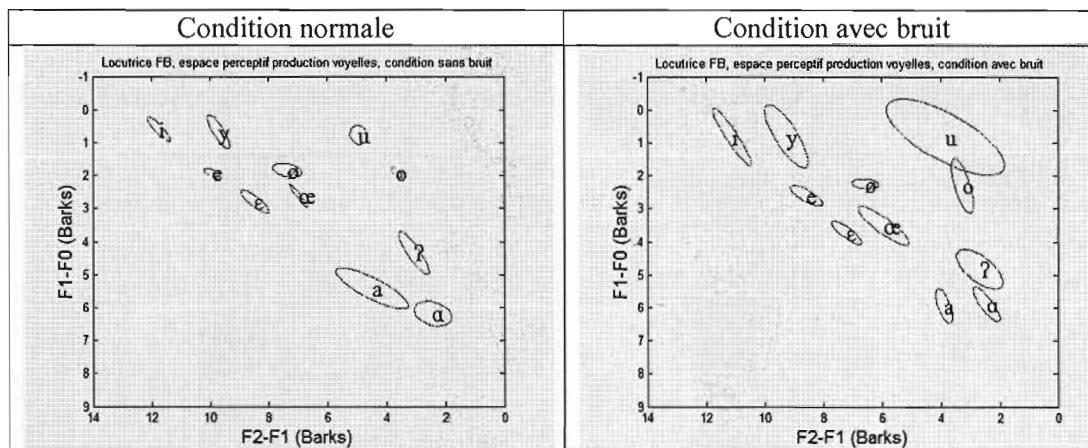


Figure 6.21 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) produits par la locutrice aveugle FB dans les 2 conditions de bruit.

La perturbation de la rétroaction auditive de la locutrice FB a une influence inverse à la locutrice DM sur la taille des ellipses produites dans les deux conditions. En effet, la condition avec bruit amène 8 de ses voyelles ([i y u e o ε œ ɔ]) à augmenter de taille dans la condition avec bruit, alors que les 3 autres ([ø ɑ a]) voient leur aire diminuer. L'augmentation marquée de l'aire de [u] et de [o] dans la condition avec bruit, de même que la diminution de la distance euclidienne les séparant a pour effet d'entraîner le chevauchement de leurs ellipses dans cette condition.

D'ailleurs, tel que c'était le cas dans l'espace acoustique, les distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur la base du trait d'arrondissement et de lieu d'articulation diminuent dans la condition avec bruit (sauf celle entre [y u] qui augmente). La perspective auditive des contrastes d'aperture amène des différences dans les variations de distances euclidiennes; en effet, si d'un point de vue acoustique presque toutes les distances euclidiennes d'aperture augmentaient dans la condition avec bruit (sauf celle entre [e ε]), deux elles diminuent ([ε a] et [u o]) et celle entre [e ε] augmente.

Les trapèzes vocaliques de la locutrice aveugle SS apparaissent à la figure 6.22. Son AVS dans la condition normale est de 4,19 Bark et de 4,18 Bark dans la condition avec bruit; la différence de 0,24% entre les 2 conditions est négligeable, contrairement à la représentation acoustique où nous avons trouvé une différence beaucoup plus importante.

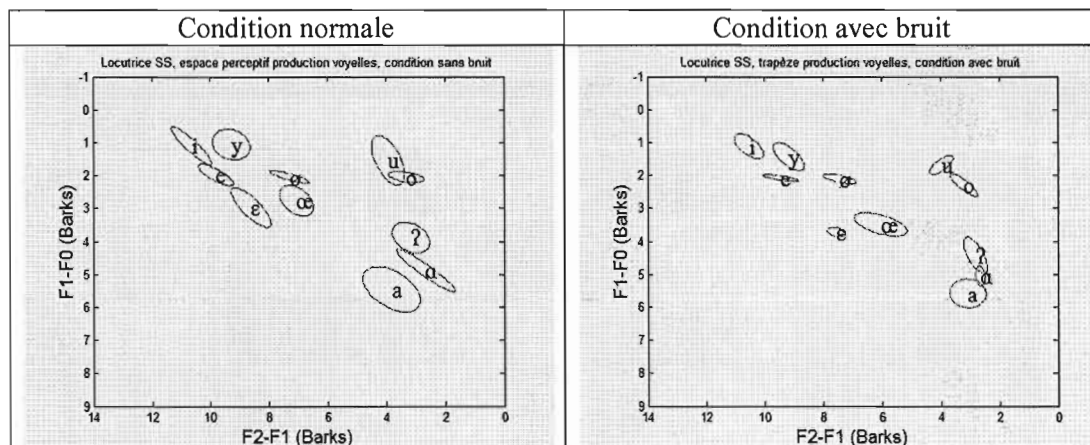


Figure 6.22 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) produits par la locutrice aveugle SS dans les 2 conditions de bruit.

Cette neutralisation globale des distances euclidiennes provient probablement du fait que pour certains traits, les distances euclidiennes diminuent ou demeurent stables (arrondissement) et que pour d'autres, elles diminuent entre certaines paires et augmentent entre d'autres (lieu d'articulation, aperture). Mais la tendance généralisée à présenter des ellipses de taille nettement plus grande dans la condition normale que dans la condition avec bruit trouvée dans l'espace acoustique est également présente dans l'espace auditif ci-haut. En effet, toutes les ellipses sauf celles de [o e] sont plus grandes dans la condition normale que dans la condition avec bruit.

Dans l'espace acoustique, SS présentait plusieurs paires d'ellipses se chevauchant dans la condition normale. Dans l'espace auditif, il s'avère que seules 2 ellipses se recoupent, [u o], et que ce chevauchement disparaît dans la condition avec bruit avec l'augmentation de leur distance euclidienne et la diminution de leur aire respective.

### 6.2.1.3 Remarques sur les productions des sujets de sexe féminin voyants versus aveugles

L'examen des trapèzes vocaliques des sujets de sexe féminin dans l'espace auditif F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) révèle des variations d'AVS en fonction de la condition de bruit de moindre importance que dans le plan acoustique. En effet tous les sujets de sexe féminin présentaient une diminution supérieure à 1,00% de leur AVS dans la condition avec bruit par rapport à la condition normale dans le plan acoustique; dans le plan auditif, la proportion de diminution des AVS de la locutrice voyante RB et des locutrices non voyantes DM et SS est

négligeable. De plus, alors que nous observons une diminution de l'AVS de la locutrice voyante AMP dans le plan acoustique, c'est plutôt une augmentation à laquelle nous assistons dans le plan auditif. C'est donc dire que le rapprochement acoustique global trouvé dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) entre les différentes voyelles produites n'entraîne pas nécessairement une diminution de la distinction des cibles auditives. Le tableau 6.5 présente les variations d'AVS, d'aires d'ellipses et de chevauchement d'ellipses tracées dans le plan F1-F0 vs F2-F1 (en Bark) de la condition normale à la condition avec bruit.

Tableau 6.5  
Comparaison de l'aire des ellipses, du nombre d'ellipses se chevauchant et de l'AVS de chacun des locuteurs en fonction de la condition de bruit<sup>6</sup>

Indices de dispersion:			Aire des ellipses			Paires d'ellipses se chevauchant			AVS (Bark)			
Conditions de bruit:			Sans	vs	Avec	Sans	vs	Avec	Sans	vs	Avec	Variation (%)
Locutrices	Voyantes	AMP	6* [y* u e ɔ a ɑ]	>*	5* [i ø o ε œ]	0	=*	0	4,55	<*	4,62	↑1,54
		CR	2 [i ε]	<	9 [y u e ø o œ ɔ a ɑ/	0	=	0	5,65	>	5,32	↓5,84
		RB	7* [i e o ε ɔ a ɑ]	>	4* [y* u ø œ]	0	=	0	5,04	≈*	5,02	↓0,40
	Aveugles	DM	8* [i y e* ø o* ɔ a ɑ]	>	3* [u* ε œ]	1 [ø œ]	>*	0*	5,54	≈*	5,51	↓0,54
		FB	3 [ø* a ɑ]	<	8 [i* y u e o ε œ ɔ]	0	<	1 [u o]	4,60	>	4,42	↓3,91
		SS	10 [i y u e ø o ε ɔ a ɑ]	>	1 [œ]	1* [u o]	>	0*	4,19	≈*	4,18	↓0,24

<sup>6</sup> L'astérisque « \* » marque la différence entre les résultats observés dans l'espace articulatoire-acoustique F1 vs F2 (en Hz) et l'espace acoustico-auditif F1-F0 vs F2-F1 (en Bark) pour chaque sujet. Cette notation est également utilisée aux tableaux 6.6, 6.7 et 6.8.



Nous observons que les locutrices voyantes ne présentent jamais de chevauchement d'ellipses dans aucune des deux conditions de bruit. C'est donc dire qu'elles parviennent à atteindre leurs cibles auditives peu importe la qualité de leur rétroaction auditive. Les locutrices aveugles présentent quant à elles chacune une paire de voyelles se recoupant dans l'espace auditif. Ces chevauchements ne concernent que les contrastes d'aperture [ø œ] et [u o]. Ce chevauchement survient dans la condition normale pour 2 sujets (DM et SS) et dans la condition avec bruit pour l'autre sujet (FB). En ce qui a trait à l'aire des ellipses, les 3 locutrices voyantes présentent un portrait différent. La locutrice AMP présente pratiquement autant d'ellipses de plus grande taille dans la condition avec bruit que dans la condition normale. La locutrice CR présente nettement plus d'ellipses augmentant de taille dans la condition avec bruit; d'ailleurs, ce portrait rejoint celui de la locutrice aveugle FB. Finalement, la locutrice voyante RB présente plus d'ellipses de plus grande taille dans la condition normale que dans la condition avec bruit, ce qui rejoint le portrait des locutrices aveugles DM et SS.

Tableau 6.6

Variation des distances euclidiennes permettant d'opposer les voyelles produites selon les traits de lieu d'articulation, d'aperture et d'arrondissement en fonction de la condition de bruit

Traits vocaliques:		Lieu d'articulation			Aperture			Arrondissement		
		Sans	vs	Avec	Sans	vs	Avec	Sans	vs	Avec
Locutrices	Voyantes	AMP	> 2/3		< 6/7			> 3/3		
		CR	> 2/3		< 4/7			> 3/3		
		RB	> 2/3		< 4/7			> 3/3		
	Aveugles	DM	≥ 3/3		< 7/7			> 3/3		
		FB	> 2/3		< 5/7			> 3/3		
		SS	> 2/3		< 5/7			≥ 3/3		

## 6.2.2 Trapèzes vocaliques des sujets de sexe masculin présentés dans le plan acoustico-auditif F1-F0 versus F2-F1 (en Bark)

### 6.2.2.1 Locuteurs voyants

À la figure 6.23 se trouvent les trapèzes vocaliques du locuteur voyant CD. Dans la condition normale, son AVS est de 4,30 Bark et dans la condition avec bruit, il est de 4,16 Bark, ce qui représente une diminution de 3,26%.

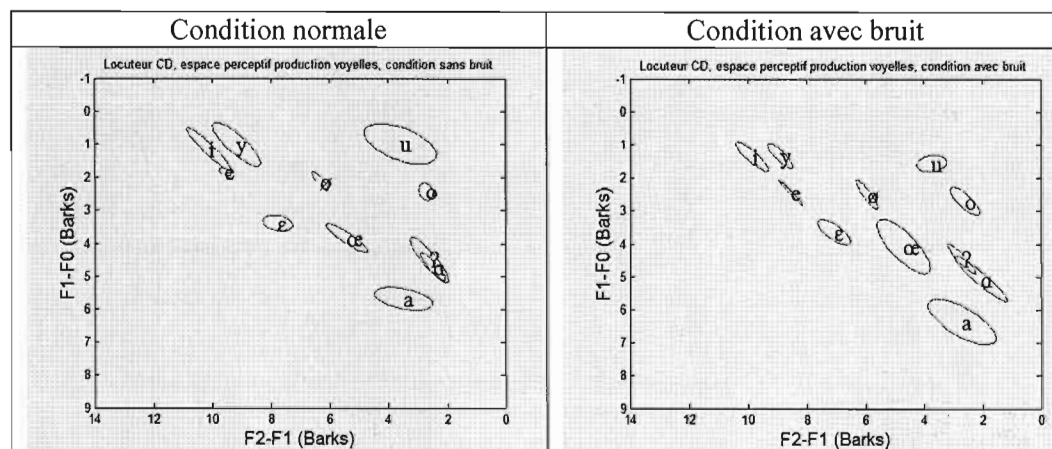


Figure 6.23 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) produits par le locuteur voyant CD dans les 2 conditions de bruit.

La perturbation de sa rétroaction auditive provoque une très légère augmentation des distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur la base du trait d'arrondissement [i y] et [e ø], contrairement à ce que nous avons trouvé sur le plan acoustique, et une diminution plus marquée de celle entre [e æ]. Par contre, en ce qui a trait aux oppositions de lieu d'articulation, nous remarquons une diminution certaine des distances euclidiennes entre les 3 paires de contrastes. En ce qui a trait aux voyelles s'opposant sur l'aperture, il n'y a pas de patron d'augmentation ou de diminution des distances euclidiennes. Toutefois, aux diminutions trouvées sur le plan acoustique entre [ɛ a] et [ø œ] sont maintenant observées sur le plan auditif des augmentations des distances euclidiennes.

La taille de 6 ellipses augmente dans la condition avec bruit ([ø o ɛ œ a ɑ]), tel que nous avons trouvé sur le plan acoustique. Le chevauchement des voyelles fermées [i e] trouvé sur le plan acoustique est également présent sur le plan auditif dans la condition

normale, mais disparaît dans la condition avec bruit avec l'augmentation de la distance euclidienne les séparant et la diminution de l'aire de leurs ellipses.

Les trapèzes vocaliques du locuteur voyant FG sont présentés à la figure 6.24. Son AVS est de 4,35 Bark dans la condition normale et de 4,11 Bark dans la condition avec bruit, ce qui représente une diminution de 5,52%.

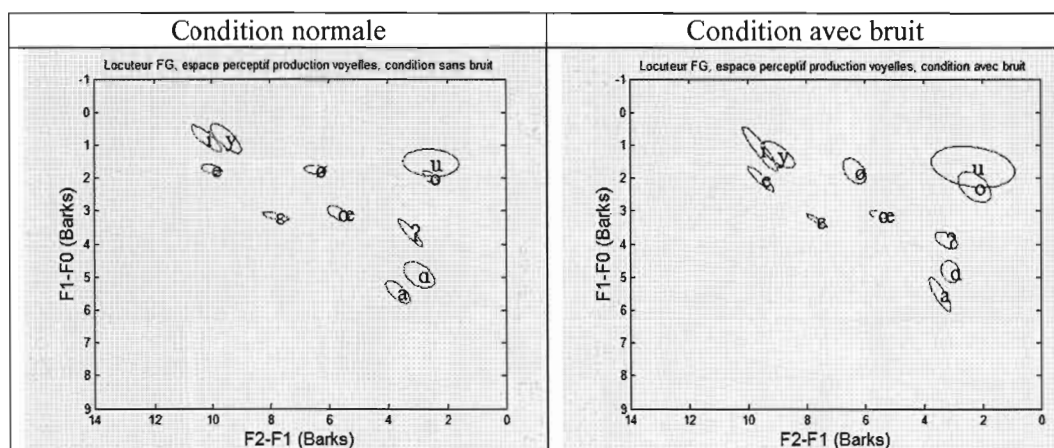


Figure 6.24 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) produits par le locuteur voyant FG dans les 2 conditions de bruit.

Tel que trouvé dans le plan acoustique, nous assistons à une diminution systématique des distances euclidiennes entre les contrastes s'opposant sur la base du trait d'arrondissement dans la condition avec bruit, provoquant ainsi le recoupement des ellipses [i y] dont les aires ont également augmenté. Les distances entre les contrastes de lieu d'articulation différent [y u] et [œ ɔ] diminuent alors que celle entre [ø ɔ] diminue, contrairement à ce qui se produit sur le plan acoustique. En ce qui a trait aux voyelles antérieures d'aperture différente, nous remarquons une stabilité des distances euclidiennes entre certaines paires ([ɛ a] et [ø œ]) et une diminution des distances entre les autres ([i e], [e ɛ], [y ø]). Par contre, tel que nous avons trouvé sur le plan acoustique, les distances entre les postérieures d'apertures différentes augmentent dans la condition avec bruit; malgré cette augmentation, le chevauchement des ellipses [u o] présent dans la condition normale demeure dans la condition avec bruit car la distance qui les sépare est très petite dans les 2 conditions et leurs aires augmentent considérablement dans la condition avec bruit. D'ailleurs, ce

locuteur voyant présente presque toujours des aires d'ellipses supérieures dans la condition avec bruit; seules [ε œ α] font exception.

À la figure 6.25, se trouvent les trapèzes vocaliques du locuteur voyant FM dont l'AVS n'est pas véritablement perturbé par la condition de bruit. En effet, son AVS dans la condition normale est de 4,38 Bark et augmente de 0,46% dans la condition avec bruit pour atteindre une valeur de 4,40 Bark.

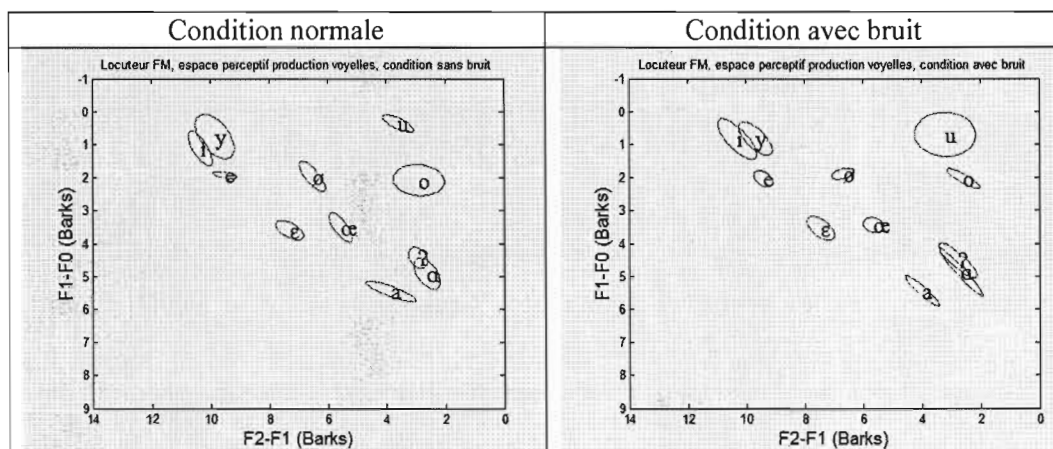


Figure 6.25 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) produits par le locuteur voyant FM dans les 2 conditions de bruit.

Il est intéressant de noter que la perspective auditive amène des différences dans les distances euclidiennes relatives au trait d'arrondissement. En ce qui a trait à l'aire des ellipses dans les deux conditions de bruit, 5 d'entre elles ont augmenté dans la condition avec bruit ([i u e œ]) et les 6 autres étaient plus élevées dans la condition normale ([y ø o æ α]). Ainsi si les distances entre [i y] et entre [e ø] diminuaient et augmentaient respectivement, nous observons que c'est exactement le contraire qui se produit dans le plan auditif; cette observation est peut-être liée à un ajustement conséquent de F0. De plus, la distance entre [i y] est très petite dans les deux conditions, si bien que les ellipses se chevauchent dans les 2 conditions, avec un recouvrement plus marqué dans la condition avec bruit. Aussi les ellipses de [y u] se distancent-elles l'une de l'autre dans la condition avec bruit, tel que c'est le cas pour les deux autres contrastes de lieu d'articulation étudiés. Finalement, il n'y a pas de patron quant à la variation des distances euclidiennes entre les contrastes d'aperture.

### 6.2.2.2 Locuteurs aveugles

L'AVS du locuteur aveugle CP passe de 3,98 Bark dans la condition sans bruit à 3,92 Bark dans la condition avec bruit, ce qui correspond à une diminution de 1,51%. Ses trapèzes vocaliques produits dans deux conditions de bruit se trouvent à la figure 6.26.

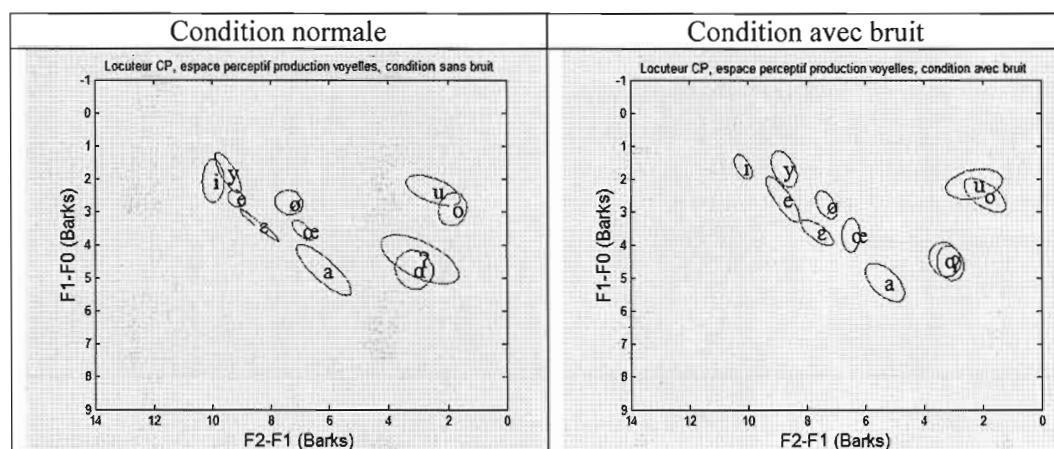


Figure 6.26 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) produits par le locuteur aveugle CP dans les 2 conditions de bruit.

L'analyse des productions de ce locuteur dans un plan auditif modifie la variation de la distance euclidienne entre  $[\emptyset o]$ , rendant alors systématique la diminution des distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur la base du trait de lieu d'articulation dans la condition avec bruit. Si les ellipses des voyelles fermées  $[i y]$  s'opposant sur la base du trait d'arrondissement se chevauchent dans la condition normale, elles sont clairement distinctes l'une de l'autre dans la condition avec bruit, suite à l'augmentation notable de leur distance euclidienne. Quant aux distances entre  $[e \emptyset]$  et entre  $[\varepsilon \text{œ}]$ , elles diminuent dans cette condition. Toutefois, en ce qui a trait à l'aperture, nous notons une augmentation systématique des distances euclidiennes dans la condition avec bruit, sauf entre les arrondies  $[y \emptyset]$  et  $[u o]$ . D'ailleurs, le chevauchement des ellipses  $[u o]$  trouvé dans la condition normale est conservé dans la condition avec bruit, étant donné que la distance euclidienne les séparant a décru et que l'aire de ces 2 voyelles a augmenté. Dans la condition normale, nous trouvons également un léger recouvrement des ellipses  $[y e]$ , alors que ces voyelles diffèrent sur les traits d'arrondissement et d'aperture. Ce recouvrement s'efface dans la condition avec bruit bien que ces ellipses demeurent très rapprochées l'une de l'autre. La taille de 6 ellipses

augmente dans la condition avec bruit ([y u e o ε œ] alors que celle des 5 autres est plus élevée dans la condition normale.

Tel que nous avons trouvé dans le plan acoustique, la diminution de l'AVS du locuteur aveugle SN de la condition normale à la condition avec bruit est négligeable, tel que nous pouvons le voir à la figure 6.27. Son AVS dans la condition normale est de 3,88 Bark et de 3,87 Bark dans la condition avec bruit, ce qui représente une diminution de 0,26%.

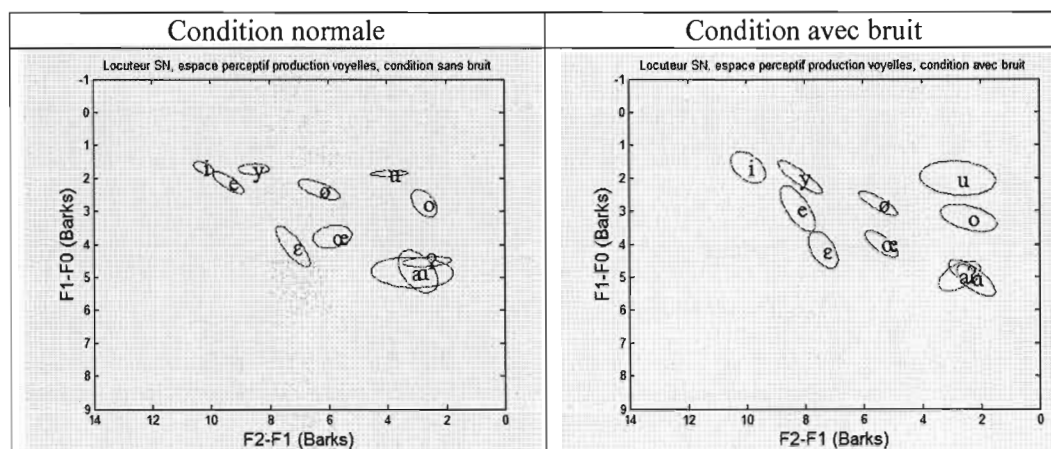


Figure 6.27 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) produits par le locuteur aveugle SN dans les 2 conditions de bruit.

Ce locuteur présente une augmentation des distances euclidiennes entre 2 contrastes d'arrondissement ([i y] et [ɛ œ]) dans la condition avec bruit. En ce qui a trait au contraste de lieu d'articulation, nous observons plutôt une diminution des distances euclidiennes entre [ø o] et [œ ɔ], alors que la distance entre [y u] augmente. Mais la dimension auditive amène un revirement des variations des distances euclidiennes entre [ø œ], [u o] et [o ɔ], qui diminuent dans la condition avec bruit, contrairement à ce que nous avons observé dans la dimension acoustique.

Finalement, nous observons une augmentation notable de l'aire des 6 ellipses de [i y u e o ε] dans la condition avec bruit, alors que celle de [ø œ ɔ a α] est plus élevée dans la condition normale. Bien que nous ne nous attardions pas aux distinctions des voyelles ouvertes, nous remarquons un chevauchement total des ellipses de [a α ɔ] dans les 2 conditions de bruit, marquant alors l'absence flagrante de distinction chez ce locuteur.

Les trapèzes vocaliques du locuteur aveugle YL se trouvent à la figure 6.28. C'est le seul locuteur de sexe masculin dont l'AVS augmente de la condition normale à la condition avec bruit; il passe de 3,50 Bark à 3,60 Bark, ce qui représente une augmentation de 2,86%.

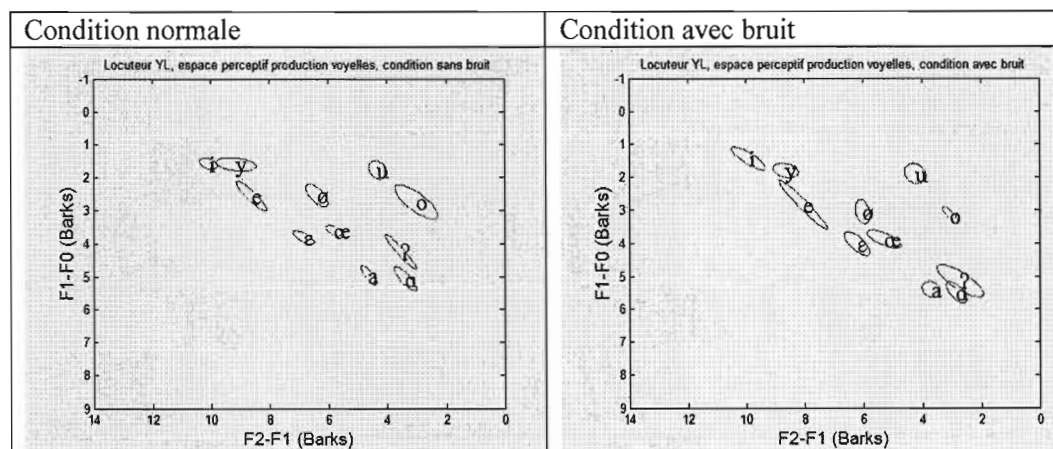


Figure 6.28 Trapèzes vocaliques dans le plan F1-F0 vs F2-F1 (en Bark) produits par le locuteur aveugle YL dans les 2 conditions de bruit.

Dans la condition normale, les ellipses de [i y] se chevauchent dans l'espace auditif. La dimension auditive montre que la distance entre ces 2 voyelles augmente dans la condition avec bruit, leur permettant de ne pas se recouper. Autrement, les distances entre les 2 autres contrastes d'arrondissement diminuent dans la condition avec bruit. Celles entre les contrastes de lieu d'articulation [y u] et [ø o] diminuent et celle entre [œ ɔ] augmente. Mais c'est surtout au niveau des contrastes d'aperture qu'est visible la tendance à l'augmentation des distances euclidiennes. En effet, les distances entre [i e], [ɛ a], [u o] et [o ɔ] augmentent dans la condition avec bruit, celles entre [e ɛ] et [y ø] demeurent stables et celle entre [ø œ] diminue. Mais la tendance la plus évidente est celle de l'augmentation de l'aire de la plupart des ellipses dans la condition avec bruit ([i u e ɛ œ ɔ a]).

### 6.2.2.3 Remarques sur les productions des sujets de sexe masculin voyants versus aveugles

La comparaison de la variation de la taille de l'AVS de la condition normale à la condition avec bruit des espaces articulatoire-acoustique (revoir le tableau 6.3) et acoustico-perceptif (voir tableau 6.7) nous permet de noter que la diminution de l'AVS observée chez les sujets voyants dans le plan F1 versus F2 (en Hertz) est moindre dans la dimension perceptive. Nous



pouvons alors tenter d'inférer que le rapprochement des produits acoustiques n'entraîne pas nécessairement une diminution considérable de la distinction des cibles auditives chez ces sujets. Cette affirmation est particulièrement vraie pour le locuteur aveugle YL, dont l'AVS chutait considérablement de la condition normale à la condition avec bruit dans le plan F1 versus F2 (en Hertz), alors nous observons plutôt une augmentation de son AVS dans le plan F1-F0 versus F2-F1 (en Bark).

Le tableau 6.7 présente aussi les fluctuations du nombre de paires d'ellipses se chevauchant dans l'espace acoustico-perceptif d'une condition à l'autre. Il est intéressant de noter que chez les locuteurs aveugles, bien que l'AVS diminue dans la condition avec bruit, le nombre de paires d'ellipses se chevauchant dans l'espace acoustico-perceptif diminue, jusqu'à être nul pour SN et YL; l'absence de chevauchement dénote une atteinte des cibles auditives dans un espace exclusif.



Tableau 6.7

Comparaison de l'aire des ellipses, du nombre d'ellipses se chevauchant et de l'AVS de chacun des locuteurs en fonction de la condition de bruit

Etude des locuteurs en fonction de la condition de bruit													
Indices de dispersion:			Aire des ellipses			Paires d'ellipses se chevauchant			AVS (Bark)				
Conditions de bruit:			Sans	vs	Avec	Sans	vs	Avec	Sans	vs	Avec	Variation (%)	
Locuteurs	Voyants	CD	5 [i y u e ɔ]	<	6 [ø o ε æ a a]	1 [i e]	>	0	4,30	>	4,16	↓3,26	
		FG	3* [ε æ a]	<*	8* [i y* u e* ø o ɔ* a]	1* [u o]	<*	2 [i y], [u o]	4,35	>	4,11	↓5,52	
		FM	6* [y ø o æ a a*]	>*	5 [i u e ε ɔ]	1 [i y]*	=*	1 [i y]	4,38	≈	4,40	↑0,46	
	Aveugles	CP	5* [i ø ɔ a a]	<*	6 [y u e o* ε* æ*]	3 [i y], [y e] [u o]	>	1 [u o]	3,98	>	3,92	↓1,51	
		SN	5* [ø æ ɔ* a a]	<	6* [i y u e o ε]	1 [i e]	>*	0*	3,88	≈	3,87	↓0,26	
		YL	3* [y* ø o]	<	8* [i u e ε æ ɔ a a]	1 [i y]*	>*	0	3,50	<*	3,60	↑2,86	

La variation des distances euclidiennes entraînée par la condition de bruit est détaillée en fonction des traits vocaliques des voyelles produites au tableau 6.8.

Tableau 6.8

Variation des distances euclidiennes permettant d'opposer les voyelles produites selon les traits de lieu d'articulation, d'aperture et d'arrondissement en fonction de la condition de bruit

Trait vocalique:			Lieu d’articulation		Aperture			Arrondissement			
Conditions de bruit:			Sans	vs	Avec	Sans	vs	Avec	Sans	vs	Avec
Locutrices	Voyantes	CD	>			<			<*		
			3/3			4/7			2/3		
		FG	>			≥*			>		
	2*/3				5/7			3/3			
	FM	<			≥*			<*			
		3*/3			4/7			2/3			
Aveugles	CP	>			<			>			
		3*/3			5/7			2/3			
	SN	>			>			<*			
2/3				4/7			2/3				
	YL	>			≤			>			
		2*/3			6/7			2*/3			

### 6.2.3 Remarques sur les conséquences acoustico-perceptives des productions des participants voyants et des participants aveugles

À la figure 6.29, nous pouvons observer que la tendance des participants à présenter des AVS calculés dans l'espace articulo-acoustique plus petits lorsqu'ils sont privés de rétroaction auditive qu'en condition normale est également trouvée dans l'espace perceptuo-acoustique, bien que cette différence ne soit pas significativement différente (selon une ANOVA à un facteur). C'est donc dire que nous assistons bien à une diminution des contrastes entre les représentations perceptuelles et non pas seulement acoustiques. Nous remarquons également que toute condition de bruit confondue, les locuteurs aveugles présentent des AVS de plus petite taille que ceux des locuteurs voyants.

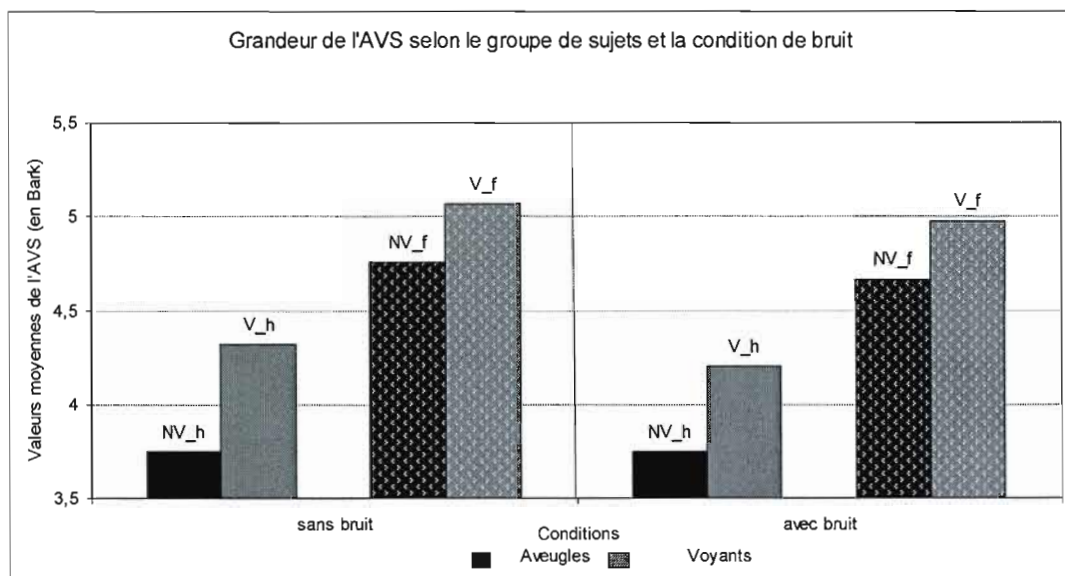


Figure 6.29 Moyennes des AVS (en Bark) des locuteurs, par groupe et par sexe. « NV » désigne les non-voyants, « V » les voyants, « h » les sujets de sexe masculin et « f », les sujets de sexe féminin.

Les figures 6.30, 6.31 et 6.32 présentent les variations des distances euclidiennes des voyelles s'opposant sur la base des traits d'arrondissement, d'aperture et de lieu d'articulation de la condition normale à la condition avec bruit dans l'espace acoustico-perceptif. Les tendances observées vont relativement dans le même sens que celles formulées dans l'espace articulatoire-acoustique (revoir section 6.1.3), mais nous portons particulièrement attention à la figure 6.30, où nous pouvons observer chez les sujets voyants une diminution quasi-systématique des distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur la base du trait d'arrondissement. Selon le cadre théorique de Guenther et Perkell (2004), la rétroaction auditive est utilisée pour calibrer le modèle interne des relations articulatoire-acoustiques au cours de la phase d'acquisition de la parole. Ce modèle permet ensuite de générer les stratégies articulatoires apprises et internalisées sans avoir recours à la rétroaction auditive, au cours de la production de la parole en temps réel. Chez les locuteurs sourds, à qui nous redonnons accès à la rétroaction auditive par le biais d'un implant cochléaire, le modèle interne est peu à peu rebâti par l'utilisation de cette rétraction. Les modifications induites par du bruit peuvent alors être interprétées comme des indices de la qualité de ce modèle interne : plus l'AVS chute dans le bruit, plus la rétroaction auditive est utilisée pour le contrôle en ligne de la parole, et moins le modèle interne est robuste. Nous remarquons ici que ce sont les

voyants qui montrent la chute la plus constante des distances euclidiennes pour l'arrondissement, par rapport aux aveugles. Nous sommes alors tentés de croire que c'est là un indice d'utilisation plus importante de la rétroaction auditive et d'un modèle interne moins robuste : le locuteur voyant a accès à des indices visuels et auditifs pour contrôler sa production, alors la rétroaction auditive a été moins utilisée pour calibrer le modèle interne, ce qui a hypothétiquement pour effet de présenter un modèle interne moins robuste, tel qu'illustré par une variation importante de distances euclidiennes lors de la perturbation de la rétroaction auditive. Au contraire, les aveugles, ne disposant pas d'informations visuelles et ne devant utiliser que l'information auditive, ont tiré davantage profit de cette rétroaction auditive pour calibrer leur modèle interne, d'où l'effet plus réduit du bruit sur la variation des distances euclidiennes entre [i y].

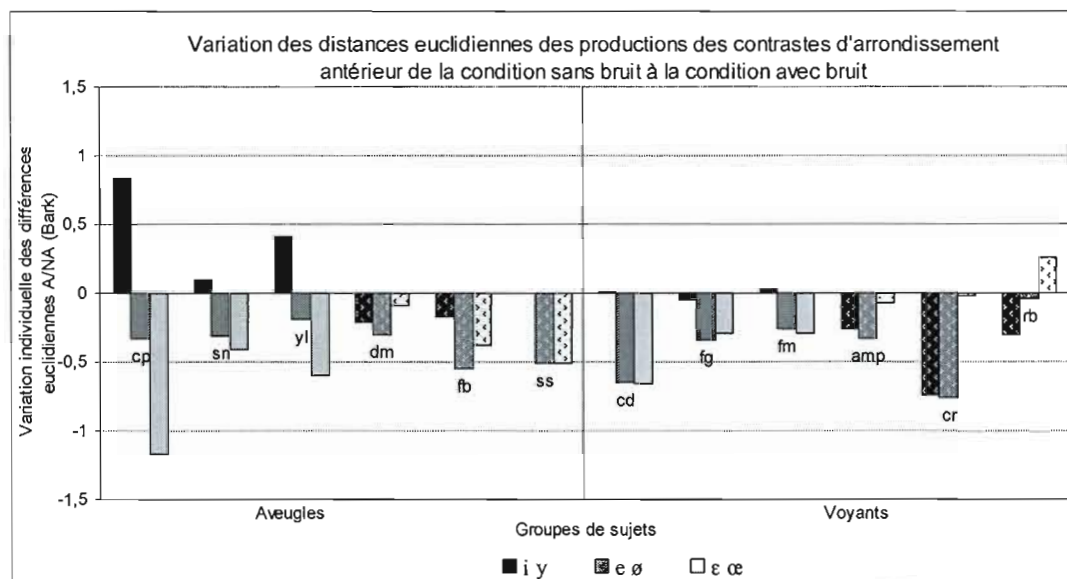


Figure 6.30 Variation (en Bark) des distances euclidiennes des voyelles antérieures s'opposant sur la base du trait d'arrondissement de la condition normale à la condition avec bruit. Une valeur négative correspond à une diminution des distances euclidiennes de la condition normale à la condition avec bruit.

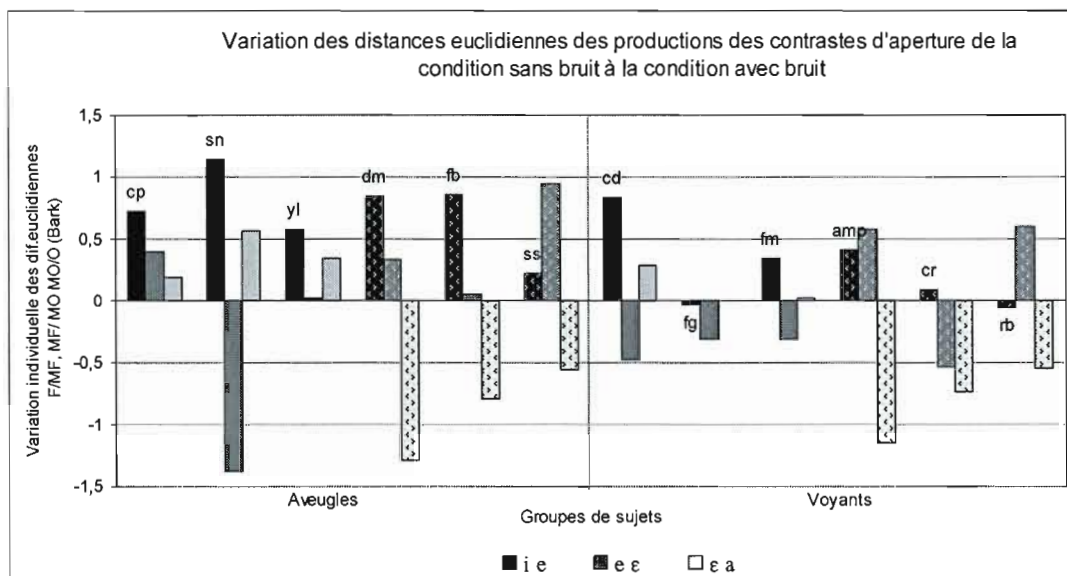


Figure 6.31 Variation (en Bark) des distances euclidiennes des voyelles s'opposant sur la base du trait d'aperture de la condition normale à la condition avec bruit.

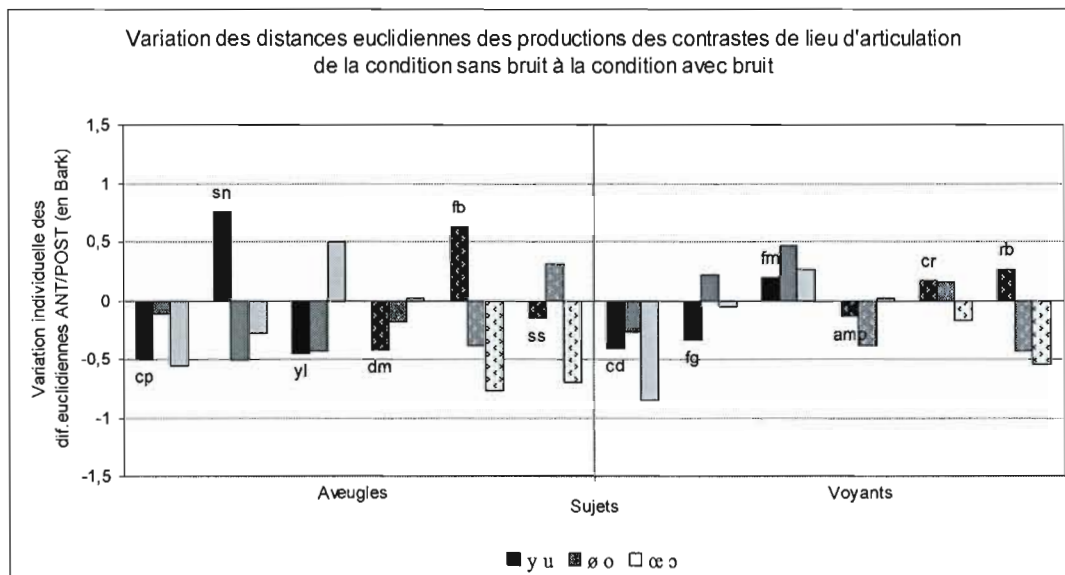


Figure 6.32 Variation (en Bark) des distances euclidiennes des voyelles s'opposant sur la base du trait d'antéro-posteriorité de la condition normale à la condition avec bruit.

L'analyse de la distribution des voyelles orales produites par les deux groupes de sujets dans les espaces F1 versus F2 (en Hertz) et F1-F0 versus F2-F1 (en Bark) nous amène à un constat de variabilité; différence des productions entre les locuteurs masculins et féminins, évidemment, mais également variabilité entre les individus aveugles et voyants de

même sexe et variabilité dans leur sensibilité à la perturbation de leur rétroaction auditive. Ainsi, les analyses articulatoire-acoustiques et acoustico-auditives n'ont pas permis de démontrer de différences significatives entre les productions des locuteurs aveugles et voyants, notamment en ce qui a trait à la taille de l'AVS et de sa variation selon la condition de bruit, de l'aire des ellipses et des distances euclidiennes. Il convient toutefois de nous intéresser au rôle de la vision dans l'établissement de relations entre production et perception des voyelles orales et c'est d'ailleurs l'objet du prochain chapitre.

## CHAPITRE VII

### LES RELATIONS ENTRE PRODUCTION ET PERCEPTION DE LA PAROLE

Au chapitre 2, nous avons vu, par le biais d'études expérimentales, quelques moyens d'explorer les relations entre production et perception de la parole. Dans le cadre de notre cueillette de données, nous avons notamment acquis des mesures formantiques des voyelles produites et des mesures de dispersion dans l'espace acoustique (distances euclidiennes) comme informations relatives au volet de la production, et nous disposons maintenant des calculs de frontières perceptives comme mesures du volet perceptif de la parole. L'objectif de ce chapitre est donc de répondre à notre objectif de mise en relation des données de perception et de production de chacun des sujets et de chacun des groupes de sujets afin de démontrer l'impact de la perception (acoustique et visuelle) sur la production des voyelles. Dans un premier temps, nous explorons le lien entre le positionnement des voyelles produites par rapport aux frontières perceptives d'aperture, de lieu d'articulation et d'arrondissement et dans un deuxième temps, nous cherchons à mettre en relation les distances euclidiennes entre les contrastes d'arrondissement, d'aperture et de lieu d'articulation avec les pics de discrimination des continua des ces mêmes contrastes.

#### 7.1 Positionnement des voyelles produites par rapport aux frontières perceptives

##### 7.1.1 Aperture produite et perçue

À la figure 7.1, pour chacun des groupes de sujets sont représentées les proportions de voyelles s'opposant sur la base du trait d'aperture correctement classifiées par les frontières perceptives calculées pour chacun des sujets; des études antérieures (Syrdal et Gopal, 1986; Ménard et al. 2002) avait déjà effectué ce type d'analyses. Afin de faciliter la visibilité des courbes, nous n'avons pas inclus les écarts-types. Ainsi, si les ANOVA à mesures répétées calculées pour comparer les courbes de chacun des deux groupes de sujets pour chacune des

catégories d'aperture (fermées, mi-fermées, mi-ouvertes, ouvertes) et pour les 2 conditions de bruit n'ont pas révélé de différences significatives, des remarques peuvent tout de même être formulées.

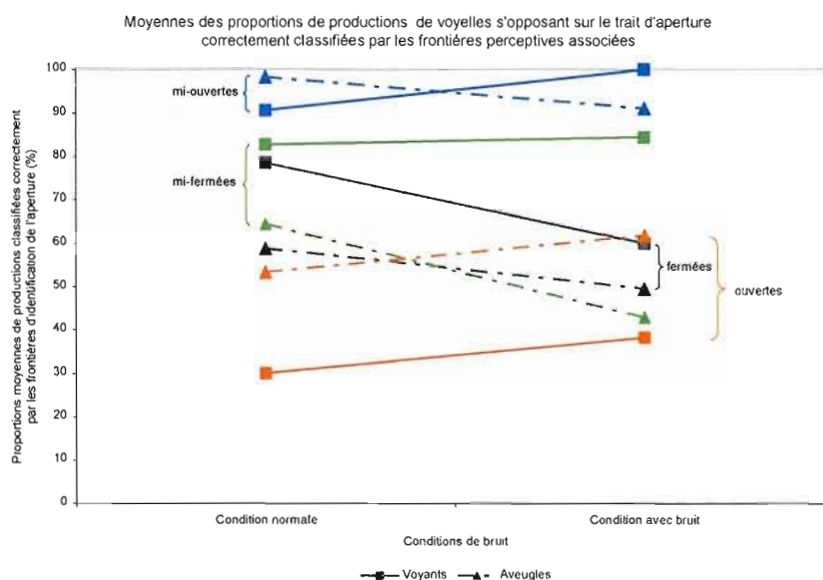


Figure 7.1 Classification des voyelles produites s'opposant sur la base du trait d'aperture en vertu des frontières perceptives associées.

Ainsi, dans la condition normale, 78,5% des voyelles fermées produites par les locuteurs voyants sont positionnées dans la partie supérieure du trapèze acoustique F1-F0 versus F2-F1 délimitée par leur frontière perceptive F/MF (fermés/mi-fermés). Dans la condition avec bruit, c'est-à-dire en l'absence de rétroaction auditive, cette classification correcte chute de 18,5% pour atteindre une valeur de 60,0%. Dans les deux conditions, cette classification est inférieure chez les sujets aveugles; en condition normale, elle est de 58,9% et elle diminue de 9,2% en condition avec bruit pour atteindre une valeur de 49,6% (voir annexe F).

En ce qui a trait à la classification des voyelles mi-fermées produites par les frontières F/MF (fermés/mi-fermés) et MF/MO (mi-fermés/mi-ouverts), les locuteurs aveugles présentent également des moyennes inférieures aux locuteurs voyants et ce, dans les deux conditions de bruit. La classification de ces derniers demeure relativement stable d'une condition à l'autre, passant de 82,8% de classification correcte en condition normale à 84,5% en condition avec bruit. De leur côté, les locuteurs aveugles présentent une classification de



64,4% en condition normale et une importante baisse de 21,6% en condition avec bruit, la classification n'atteignant alors que 42,9%.

Si au niveau strictement perceptif, nous n'avons pas observé de différences majeures entre le caractère catégoriel de la perception du contraste fermé/mi-fermé chez les sujets voyants et aveugles, tel que démontré par les pentes des courbes d'identification de cette frontière qui étaient respectivement de 1,37 et 1,32 (revoir section 5.2.1.1), l'établissement de relations entre la production et la perception des voyelles fermées et mi-fermées chez les sujets voyants et aveugles laisse supposer que pour produire ces catégories phonétiques, les locuteurs aveugles prennent toutefois moins appui sur leur perception que les sujets voyants, puisqu'une proportion inférieure de leurs productions respectent leur frontière catégorielle.

Nous observons un effet plafond chez les deux groupes de sujets et pour les deux conditions de bruit en ce qui a trait à la classification des voyelles mi-ouvertes produites et respectant le corridor perceptif délimité par les frontières F/MF et MF/MO. En effet, la moyenne de classification correcte des voyelles mi-ouvertes produites à l'intérieur des frontières perceptives est de 90,6% pour les voyants dans la condition normale, et elle passe à 100,0% dans la condition avec bruit; chez les sujets aveugles, elle est de 98,3% dans la condition normale et elle passe à 91,1% dans la condition avec bruit.

Les courbes issues de la mise en relation des voyelles ouvertes produites et de la frontière perceptive MO/O sont difficilement interprétables puisque nous avons observé, autant en production qu'en perception, une certaine confusion phonologique entre les voyelles ouvertes [a] et [ɑ] et la mi-ouverte [ɔ]. Cette confusion se manifeste donc par une proportion de classification inférieure à toutes les autres chez les voyants et, étonnamment, à une augmentation chez les 2 groupes de la classification dans la condition avec bruit.

### 7.1.2 Lieu d'articulation produit et perçu

La figure 7.2 présente la proportion de productions de voyelles s'opposant sur la base du trait d'antéro-postériorité. Nous observons un effet plafond pour la classification des voyelles postérieures et antérieures, et ce pour les deux groupes de sujets et les deux conditions de bruit. C'est donc dire que ces catégories phonétiques sont bien internalisées chez les deux

groupes de sujets et qu'elles ne sont pas véritablement déstabilisées par l'absence de rétroaction auditive.

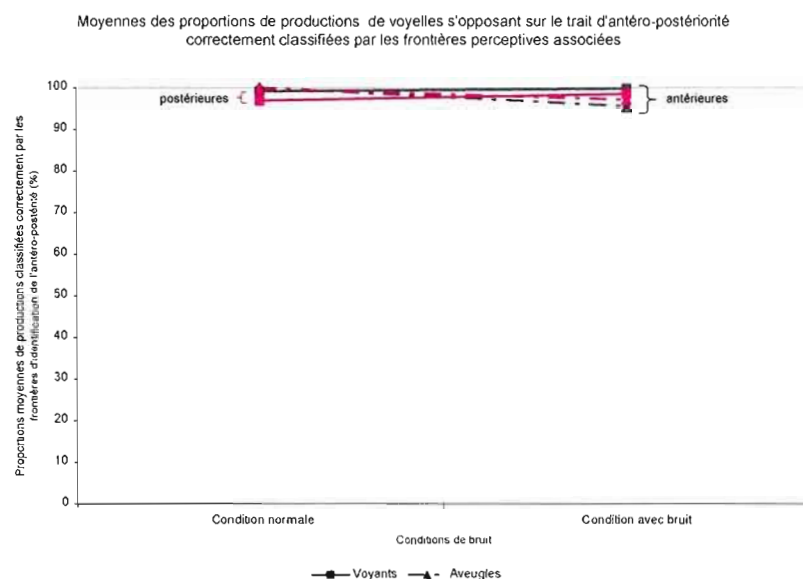


Figure 7.2 Classification des voyelles produites s'opposant sur la base du trait de lieu d'articulation, en vertu de la frontière perceptive ANT/POST.

### 7.1.3 Arrondissement produit et perçu

Les moyennes des proportions de voyelles antérieures produites s'opposant sur la base du trait d'arrondissement correctement classifiées par la frontière perceptive A/NA (arrondis/non arrondis) se trouvent à la figure 7.3. Toutes les voyelles antérieures arrondies produites par les sujets aveugles et voyants dans les 2 conditions de bruit sont situées d'une même part de la frontière entre voyelles arrondies et non arrondies identifiées sur l'axe F2' dans le plan F1-F0 versus F2' (en Bark), dénotant également un effet plafond.

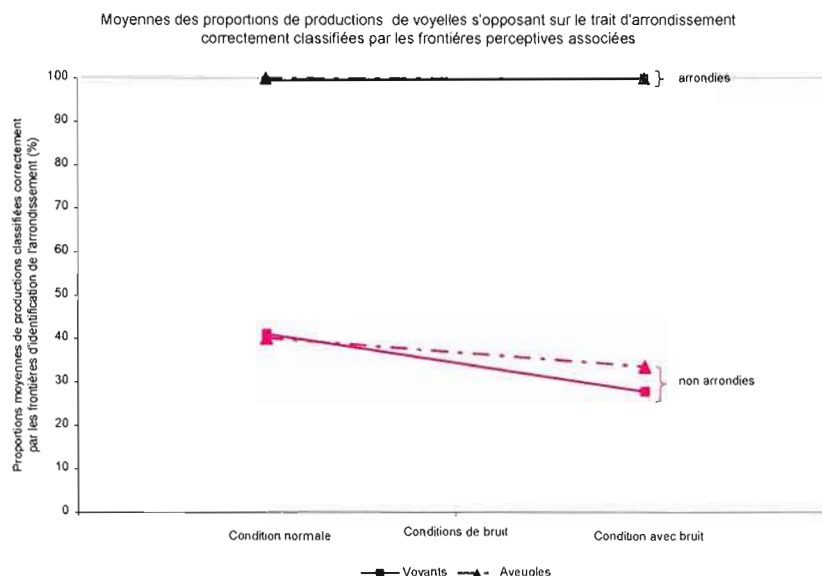


Figure 7.3 Classification des voyelles produites s'opposant sur la base du trait d'arrondissement antérieur, en vertu de la frontière perceptive A/NA.

Le taux de classification des voyelles antérieures non arrondies produites par rapport à la frontière perceptive ANA est cependant nettement inférieur. Dans la condition normale, il est de 40,9% chez les sujets voyants et de 40,0% chez les sujets aveugles, et il diminue respectivement de 13,2% et de 6,6% dans la condition avec bruit pour atteindre des valeurs de 27,7% et de 33,4%. Une ANOVA à mesures répétées n'a pas révélé de différence significative entre les groupes de sujets et entre les conditions de bruit, mais on retrouve également ici la tendance observée pour les voyelles s'opposant sur la base du trait d'aperture selon laquelle, en l'absence de rétroaction auditive, les voyelles produites divergent davantage des frontières perceptives.

## 7.2 Mise en relation des distances euclidiennes des productions et les pics de discrimination de perception

### 7.2.1 Régressions linéaires

L'analyse exclusive des pics de discrimination du trait d'aperture (revoir section 5.3.1) avait révélé qu'il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes à cet égard. La figure 7.4 tente de mettre en relation les pics de discrimination du continuum de [i] à [e] et les distances euclidiennes produites entre ces deux voyelles par les sujets aveugles et voyants.

Étant donné le petit nombre de sujets (les données de 4 sujets voyants sur 6 ont pu être dépouillées et celles des 6 sujets aveugles s'y trouvent), les régressions linéaires appliquées sur les points sont très rapidement influencées par une valeur divergente et les corrélations de Pearson calculées ne sont alors pas significatives. Par conséquent, nous ne nous permettons pas de formuler d'interpréter la valeur des pentes calculées et leur direction.

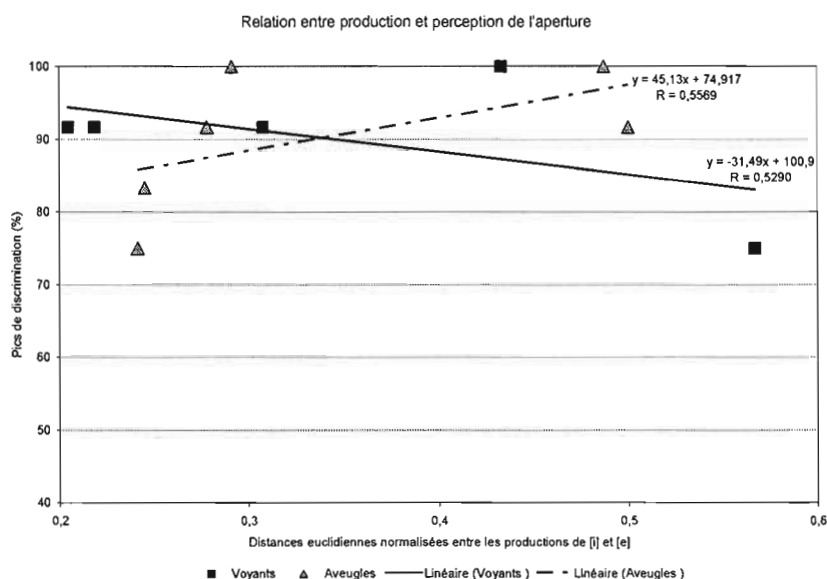


Figure 7.4 Mise en relation des pics de discrimination (perception) du continuum de [i] à [e] et des distances euclidiennes produites pour ce contraste (production).

Il en est de même pour la mise en relation des distances euclidiennes entre les voyelles produites s'opposant sur la base des traits de lieu d'articulation et d'arrondissement. Sont tout de même présentées les droites obtenues relatives à la production et à la perception du lieu d'articulation (figure 7.5) et de l'arrondissement (figure 7.6).

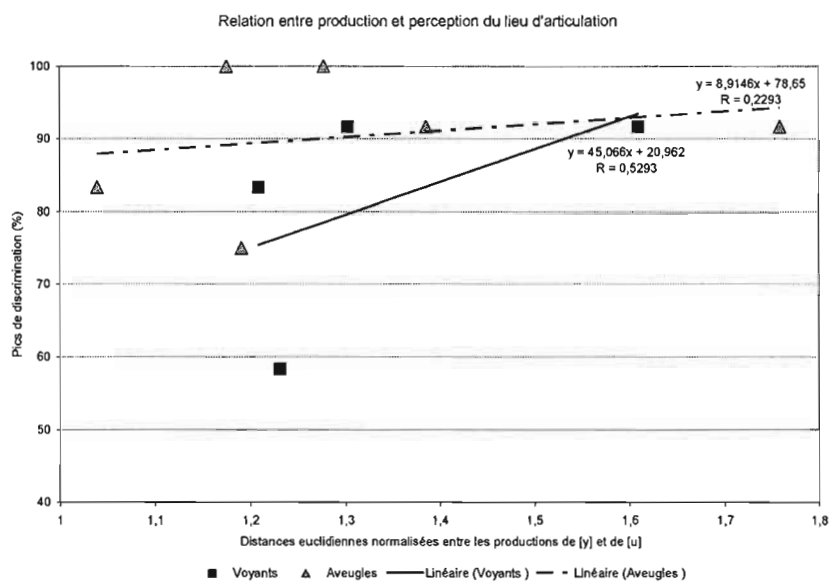


Figure 7.5 Mise en relation des pics de discrimination (perception) du contraste de [y] à [u] et des distances euclidiennes produites pour ce contraste (production).

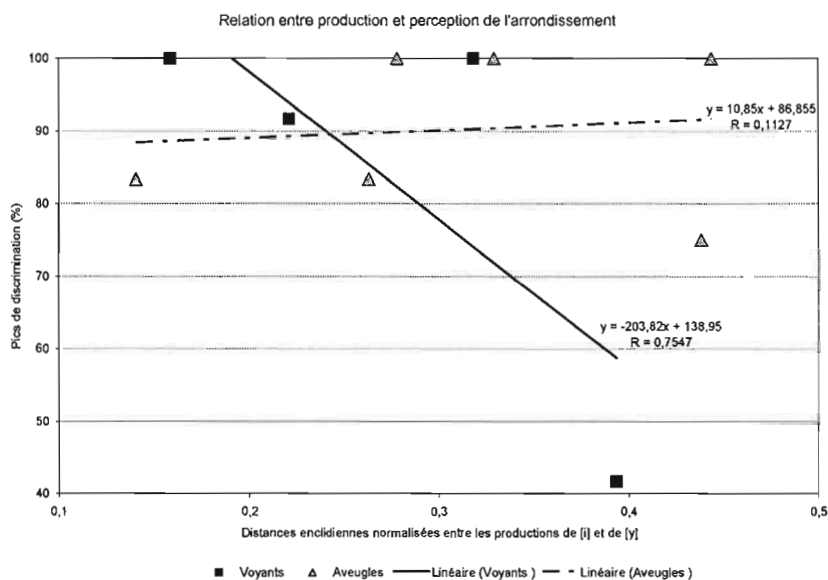


Figure 7.6 Mise en relation des pics de discrimination (perception) du contraste de [i] à [y] et des distances euclidiennes produites pour ce contraste (production).

### 7.2.2 Remarque

Les données mises en relation au cours de la section précédente possèdent un potentiel d'analyse des relations entre production et perception de la parole élevé, mais le nombre restreint de sujets et les données divergentes de la locutrice voyante AMP (le point systématiquement moins élevé en ordonnées) nous ont empêché d'interpréter les droites obtenues.

## CHAPITRE VIII

### ÉTUDE EXPLORATOIRE DE L'ANTICIPATION LABIALE D'ARRONDISSEMENT CHEZ DEUX LOCUTEURS VOYANTS ET DEUX LOCUTEURS AVEUGLES

Ce chapitre constitue une étude exploratoire de l'anticipation vocalique anticipante, effectuée auprès de 2 locuteurs voyants et de 2 locuteurs aveugles. Nous avons jusqu'à présent analysé la production et la perception des voyelles en position tenue isolée, alors il convient maintenant de s'interroger sur l'influence des indices perceptuels sur le mouvement de passage d'une cible à l'autre. Pour ce faire, nous proposons de tester le modèle d'expansion du mouvement (MEM) présenté à la section 1.1.4, afin de vérifier si le geste anticipatoire visible de constriction des locuteurs aveugles diffère de celui des locuteurs voyants. Sont donc présentées, pour chacun des sujets, les droites mettant en relation la durée de l'intervalle d'obstruence (IO) et la durée du mouvement de constriction (TF+H).

#### 8.1 Sujets voyants

Les données du locuteur voyant FM ont été confrontées au MEM et la figure 8.1 montre bien que ce modèle leur sied bien. Si des enregistrements de séquences [iy] ont été effectués auprès de ce sujet, les données n'apparaissent pas sur l'axe des ordonnées puisque un intervalle d'obstruence a été déterminé pour chacune des occurrences, le sujet effectuant toujours une occlusion ou un coup de glotte entre les deux voyelles. Par conséquent, la constante d'exécution n'a pas pu être calculée chez ce sujet. Nous remarquons également que les données de ce locuteur sont très rapprochées les unes des autres sur le plan de la durée de l'intervalle d'obstruence, dont les valeurs n'excèdent jamais 0,33 seconde. Rappelons les abréviations mentionnées à la section 1.1.4 mentionnées dans les quatre prochaines figures. IO réfère à la durée de l'intervalle d'obstruence, TF réfère à l'intervalle de temps compris entre les événements « 90% de chute » et « 10% de chute » de l'aire aux lèvres et H réfère à



l'intervalle compris entre les événements « 90% de chute » et « 10% de remontée » de la valeur de l'aire aux lèvres.

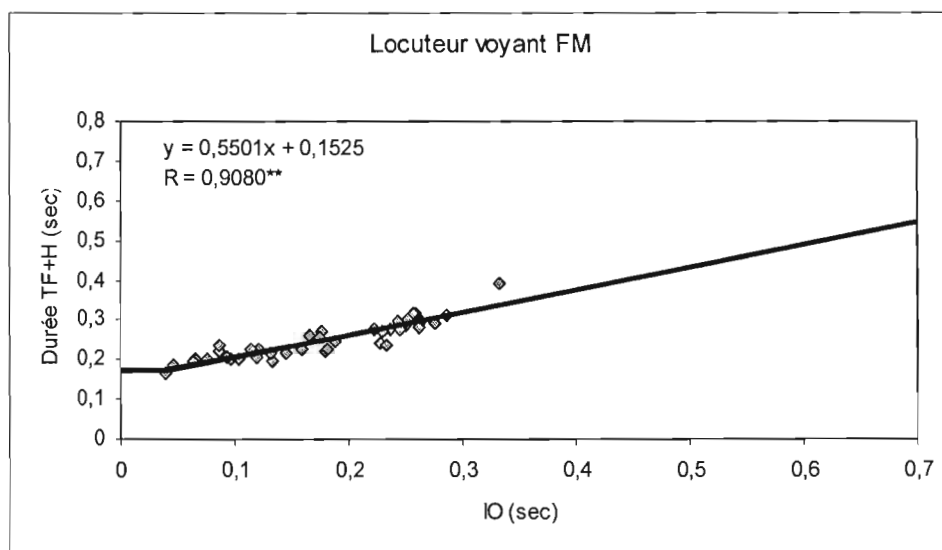


Figure 8.1 Test du MEM à partir des données du locuteur voyant FM.

Les résultats obtenus par régression linéaire sont toutefois éloquentes : la droite résultante, dont la pente possède une valeur de 0,5501, rend très bien compte de la distribution linéaire des données puisque le coefficient de corrélation  $R$ , calculé avec 41 degrés de liberté, présente une valeur très élevée de 0,9080 et est significatif à  $\alpha < 0,001$ .

Des résultats similaires ont été observés chez la locutrice voyante CR, tel qu'en témoigne la figure 8.2. Si la constante d'exécution n'a pas pu être déterminée chez cette locutrice, dû à un manque de fluidité dans le passage [iy] donnant lieu à un coup de glotte considéré comme un intervalle d'obstruence et à l'élimination de séquences dont la détection des contours labiaux n'était pas satisfaisante, la régression linéaire a permis de calculer une pente dont la valeur est de 0,4544. Le coefficient de corrélation  $R$ , qui tient compte de 42 degrés de liberté, est de 0,8879 et est hautement significatif ( $\alpha < 0,001$ ).

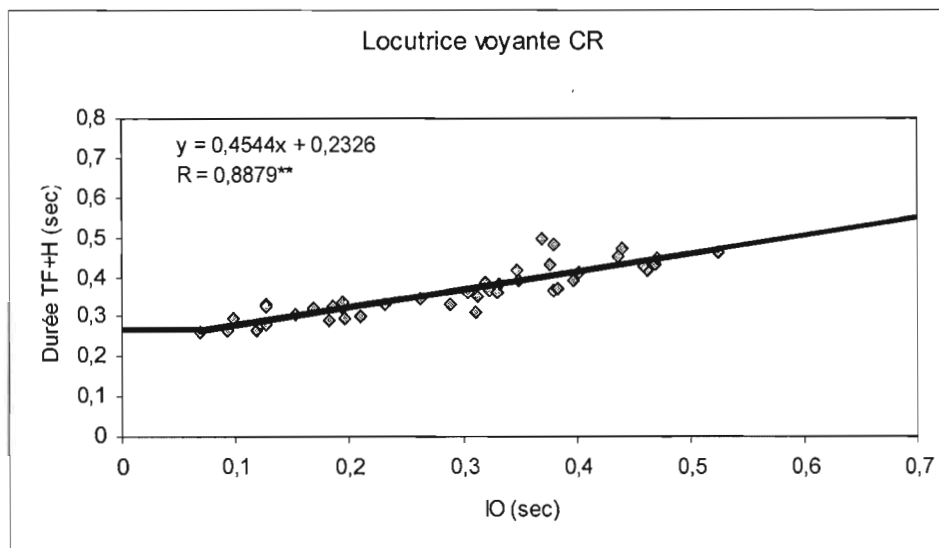


Figure 8.2 Test du MEM à partir des données de la locutrice voyante CR.

## 8.2 Sujets aveugles

La constante d'exécution du locuteur aveugle CP a quant à elle pu être déterminée; nous pouvons d'ailleurs observer les données issues des séquences [iy] sur l'axe des ordonnées de la figure 8.3. La constante d'exécution s'élève à 207 millisecondes, ce qui nous semble une valeur plutôt élevée, la littérature rapportant plutôt des constantes d'exécution de l'ordre de 140 ms chez les adultes (Abry et Lallouache, 1995).

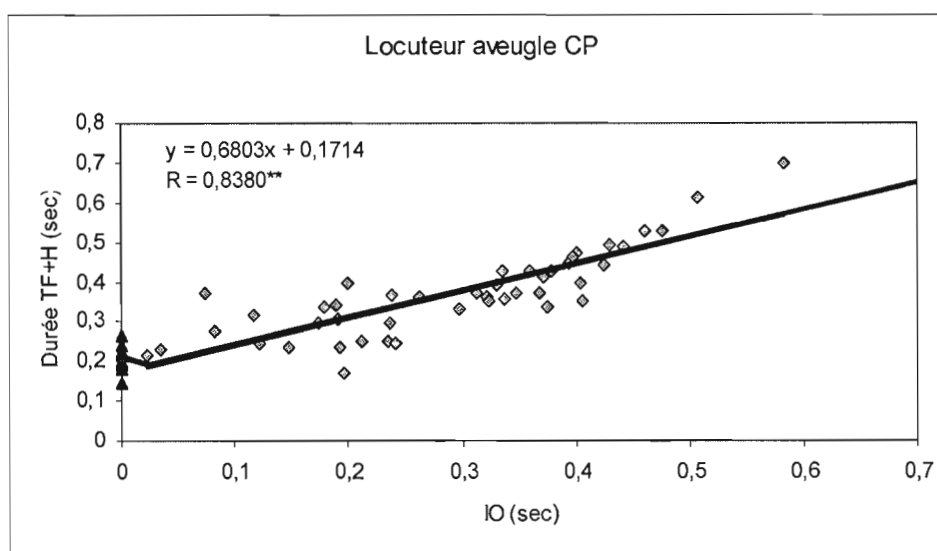


Figure 8.3 Test du MEM à partir des données du locuteur aveugle CP.

La régression linéaire appliquée sur les données de ce locuteur aveugle a révélé une courbe dont la valeur de la pente est de 0,6803. Le coefficient de corrélation R, calculé avec 44 degrés de liberté, s'élève à 0,8380, significatif pour  $\alpha=0,001$ . Les données de ce sujet semblent alors être validées par le MEM.

À la figure 8.4, sont présentées les données de la locutrice aveugle DM. La constance d'exécution, qui est de 207 ms, n'a pu être calculée qu'à partir d'une seule occurrence de la séquence [iy]. Remarquons que cette constante, tout comme celle de l'autre locuteur aveugle, est plutôt élevée. La pente de la droite de régression linéaire a une valeur de 0,3342 et le coefficient de corrélation R, calculé pour 37 degrés de liberté, est de 0,6719 et significatif à  $\alpha=0,001$ . Bien que le coefficient de corrélation soit inférieur à ceux des autres sujets, il est tout à fait suffisant pour valider le MEM.

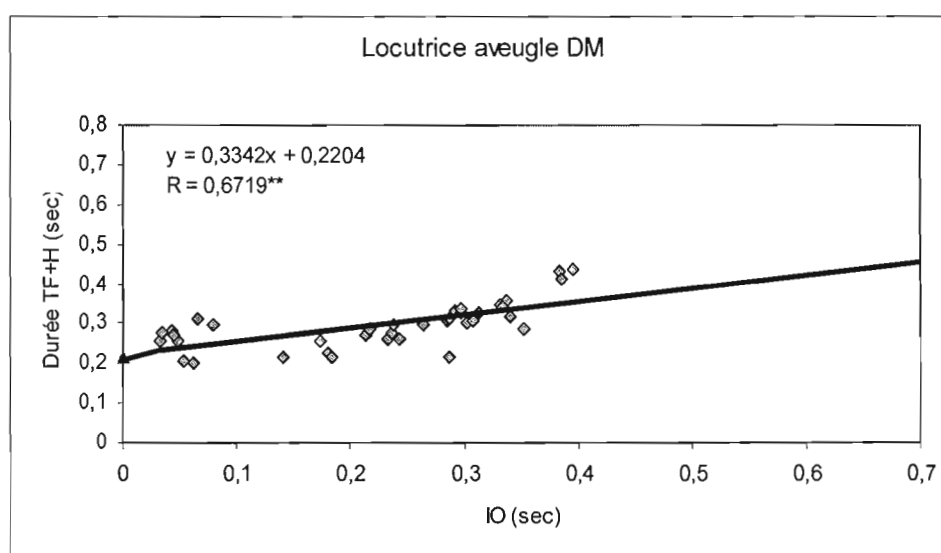


Figure 8.4 Test du MEM à partir des données de la locutrice aveugle DM.

### 8.3 Synthèse

Cette étude exploratoire démontre que le MEM permet très efficacement de rendre compte des données des 2 sujets voyants et des 2 sujets aveugles, dont les pentes, les coefficients de corrélation et les constantes d'exécution sont rappelées au tableau 8.1. En effet, les pentes de régression, hautement significatives, ne sont ni nulles ni égales à un, tel que stipulé respectivement par les modèles TL et LA.

Tableau 8.1  
Données de validation du MEM de chacun des sujets

<b>Sujets</b>	<b>Pentes de régression</b>	<b>Coefficients de corrélation R</b>	<b>Constante d'exécution (ms)</b>
FM_h_voyant	0,5501	0,9080**	-
CR_f_voyante	0,4544	0,8879**	-
CP_h_aveugle	0,6803	0,8380**	207
DM_f_aveugle	0,3342	0,6719**	217

\*\* significatif à  $\alpha=0,001$

Les coefficients de corrélation des sujets aveugles, bien que la régression linéaire soit hautement significative pour tous les sujets, sont inférieurs à ceux des sujets voyants. Les pentes des 2 sujets voyants sont relativement similaires et témoignent d'une planification du geste de constriction labiale comparable. De leur côté, les pentes des locuteurs aveugles révèlent également une planification du geste d'arrondissement conforme au MEM. Les pentes très différentes des deux sujets, respectivement de 0,6803 (locuteur CP) et de 0,3342 (locutrice DM) incitent toutefois à poursuivre l'investigation auprès d'un plus grand nombre de sujets aveugles, de façon à vérifier si une tendance dans la valeur de la pente, marquant l'importance de l'anticipation, pourrait être trouvée.

## QUATRIÈME PARTIE

### SYNTHÈSE GÉNÉRALE ET CONCLUSION

## CHAPITRE IX

### SYNTHÈSE GÉNÉRALE ET CONCLUSION

#### 9.1 Synthèse générale

Ce mémoire visait à étudier le rôle des indices visuels et acoustiques dans les mécanismes de perception et de production de la parole. La description de l'organisation perceptive des 6 participants aveugles et des 6 participants voyants fournie par le calcul des frontières catégorielles, les pentes Probit, les trapèzes vocaliques perceptifs et les pics de discrimination cherchait à vérifier la sensibilité de chacun des groupes de sujets à des variations spectrales et articulatoires et à déterminer les indices utilisés pour percevoir les catégories phonétiques selon les traits d'aperture, de lieu d'articulation et d'arrondissement. La description articulatoire-acoustique et acoustico-auditive des 11 voyelles orales à l'étude produites en position tenue isolée en condition sans bruit a servi à tester si les sujets aveugles présentaient une organisation acoustique et auditive différente des sujets voyants, et celle des voyelles produites en condition avec bruit cherchait à mesurer l'importance accordée à la rétroaction auditive par chacun des groupes de sujets. Finalement, l'étude exploratoire du MEM sur des séquences [iC<sub>n</sub>y] produites par 2 sujets par groupe a servi à comparer la planification articulatoire du mouvement d'arrondissement par les deux groupes de sujets.

Les données recueillies nous ont largement permis de répondre aux objectifs de description de l'organisation de la production et de la perception des voyelles orales du français québécois de nos 12 sujets aveugles et voyants. En ce qui a trait à leurs habiletés perceptives, l'analyse des percepts fournis en réponse à la présentation des 490 voyelles synthétisées n'a pas permis d'observer d'importantes différences reliées à l'accès ou non à la vision. Les frontières catégorielles calculées ne diffèrent que très peu d'un groupe de sujets à l'autre; les sujets aveugles ont cependant tendance à présenter des valeurs de frontières

catégorielles un peu moins élevées que celles de sujets voyants, notamment les frontières mi-fermées/mi-ouvertes et mi-ouvertes/ouvertes, et des pentes Probit légèrement plus faibles. En ce qui a trait aux habiletés des participants à discriminer des différences entre des stimuli consécutifs compris dans des continua de voyelles synthétisées, les sujets voyants et aveugles se sont comportés de façon similaire, présentant de forts pics de discrimination pour les contrastes d'aperture, de lieu d'articulation et d'arrondissement. Nous avons toutefois observé que les sujets aveugles présentaient des pics de discrimination de l'antéro-postériorité et de l'arrondissement légèrement plus élevés que ceux des voyants. Ces résultats relatifs à la perception de la parole, s'ils ne permettent pas de faire ressortir un traitement particulier des indices acoustiques par les aveugles dû à leur développement unimodal acoustique de la parole, apportent des éléments expérimentaux en défaveur du postulat populaire selon lequel les aveugles présenteraient des habiletés perceptives supérieures à celles des voyants.

Les enregistrements des productions par chacun des sujets de répétitions des 11 voyelles à l'étude ont permis d'en extraire les valeurs formantiques et de tracer des tableaux articulatoire-acoustiques et acoustico-auditifs de l'organisation des productions des participants. Le constat qui ressort de ces représentations en est d'abord un de variabilité : variabilité due au sexe, à la physiologie, aux choix articulatoires. Par contre, la condition de perturbation de la rétroaction auditive a permis d'observer une diminution généralisée de la taille de l'AVS (espace vocalique moyen, de l'anglais « average vowel space »), des distances euclidiennes entre les voyelles s'opposant sur la base du trait d'arrondissement et une augmentation fréquente de celles s'opposant sur la base du trait d'aperture. Nous avons tout de même pu observer une légère tendance des sujets aveugles à présenter des AVS de plus petite taille que les voyants et ce, dans les deux conditions de bruit. Il en ressort donc que les productions des aveugles sont comparables à celles des voyants et qu'elles ne sont du tout déviantes, tel que l'avaient suggéré certaines études antérieures.

Nous avons cherché à mettre en relation les valeurs acoustiques des voyelles produites par les participants et les frontières perceptives calculées. Or, il appert que les deux groupes de sujets guident de façon semblable leur production à partir de leur perception. Des effets plafond ont été observés dans le classement des voyelles produites mi-ouvertes,

antérieures, postérieures et arrondies en vertu des frontières catégorielles qui leur sont associées. Même si le classement des voyelles mi-fermées, fermées, ouvertes et non arrondies est inférieur, il est tout de même pratiquement égal pour les deux groupes.

Cette similarité entre les comportements de production de la parole des aveugles et des voyants est également trouvée dans l'analyse de leur planification motrice de l'anticipation labiale d'arrondissement, tel que l'ont montré nos données géométriques des lèvres lors de la production de séquences [iC<sub>n</sub>y]. Les données des 4 sujets concordent avec les principes du modèle d'expansion du mouvement et confirment la présence d'une relation linéaire entre la durée de l'intervalle d'obstruence et la durée du mouvement de constriction labiale. Les 2 sujets aveugles présentent des pentes inférieures à celles des sujets voyants, mais des données supplémentaires seraient requises pour pouvoir lier cette observation à l'accès ou non aux indices visuels d'arrondissement des lèvres.

D'ailleurs, cela constitue une limite à notre étude, dans la mesure où la production de la parole étant un objet tellement variable qu'une cueillette de données auprès de plus de sujets permettrait de neutraliser cette variabilité inter-individuelle. Dans le même ordre d'idées, le substrat de parole étudié consistait en les 11 voyelles orales du français québécois. Par conséquent, les tests de perception et les corpus d'enregistrements de productions étaient assez volumineux; l'étude d'un nombre plus restreint de contrastes vocaliques permettrait d'affiner la cueillette de données et d'approfondir l'analyse de leur perception et de leur production.

Néanmoins, ce mémoire constitue une contribution originale à la recherche relative aux privations sensorielles et au rôle des indices acoustiques et visuels dans les mécanismes de production et de perception de la parole.

## 9.2 Pistes à explorer

L'intérêt suscité par cette recherche et les limitations mentionnées plus tôt nous incitent à proposer de nombreuses pistes pour poursuivre l'étude. Tout d'abord, nous réitérons l'intérêt d'agrandir le bassin de sujets, mais nous savons tout de même qu'il est difficile de recruter beaucoup d'individus aveugles adultes répondant à tous nos critères. C'est pourquoi nous proposons d'abord l'analyse exhaustive de toutes les données recueillies dans le cadre de ce mémoire, mais qui n'ont pas toutes pu être dépouillées, notamment celles du test de



discrimination de voyelles et des données géométriques des lèvres. Aussi, des données articulatoires d'EMA avaient été recueillies, mais n'ont pas pu être dépouillées dans le cadre du présent mémoire; des telles mesures articulatoires complèteraient bien l'étude des relations en production et perception de la parole. En ce qui a trait à la description de la perception auditive de nos participants, l'ajout de tests impliquant divers niveaux de signal sur bruit viendrait préciser la robustesse de la perception de traits visibles (aperture et arrondissement) et non visibles (lieu d'articulation) des voyelles par nos participants. Aussi, dans le cadre de l'étude du mouvement anticipatoire d'arrondissement, l'usage du paradigme de gating serait intéressant pour étudier l'efficacité perceptive des mouvements anticipatoires visibles d'arrondissement des sujets aveugles et voyants.

Bien que les sujets n'aient pas déclaré présenter des troubles d'audition, il serait important de s'en assurer par le biais d'audiogrammes. De plus, il serait pertinent de procéder à des tests de perception visuelle auprès des sujets voyants. De cette façon, nous pourrions obtenir une mesure directe de l'importance qu'ils accordent aux indices visuels pertinents à la parole plutôt que de supposer une sensibilité homogène.

En définitive, nous croyons qu'une étude développementale serait davantage susceptible de mettre en lumière des différences dans la production et/ou la perception de la parole entre aveugles et voyants, les catégories phonétiques des enfants étant en cours de mise en place et les processus de compensation supposés n'étant pas présents. Nous proposons aussi de nous concentrer sur le contraste vocalique le plus visible, à savoir celui entre [i] et [y].

## APPENDICE A

### STIMULI DU TEST D'IDENTIFICATION DE VOYELLES SYNTHÉTISÉES

Tableau A4.1  
Valeurs formantiques (en Hertz et en Bark) et paramètres articulatoires VLAM des  
stimuli synthétisés pour le test d'identification

Voyelle	Age	F1	F2	F3	Z1	Z2	Z3	Z4	F0	Z0	Ac	Al	Lgth	Vol	Xc	LipP	Body	LipH	Jaw	Apex	Drsm	Lx
i	0	570	4767	6453	5,54	18,8	20,9	22,3	450	4,52	0,15	0,24	7,33	8,75	5,61	-2,24	-3,48	-1,2	-1,92	-0,93	-1,51	1,61
i	0	570	4767	6453	5,54	18,8	20,9	22,3	360	3,7	0,15	0,24	7,33	8,75	5,61	-2,24	-3,48	-1,2	-1,92	-0,93	-1,51	1,61
i	0	570	4767	6453	5,54	18,8	20,9	22,3	300	3,13	0,15	0,24	7,33	8,75	5,61	-2,24	-3,48	-1,2	-1,92	-0,93	-1,51	1,61
i	0	570	4767	6453	5,54	18,8	20,9	22,3	270	2,83	0,15	0,24	7,33	8,75	5,61	-2,24	-3,48	-1,2	-1,92	-0,93	-1,51	1,61
i	0	570	4767	6453	5,54	18,8	20,9	22,3	240	2,53	0,15	0,24	7,33	8,75	5,61	-2,24	-3,48	-1,2	-1,92	-0,93	-1,51	1,61
i	0	570	4767	6453	5,54	18,8	20,9	22,3	210	2,22	0,15	0,24	7,33	8,75	5,61	-2,24	-3,48	-1,2	-1,92	-0,93	-1,51	1,61
i	0	570	4767	6453	5,54	18,8	20,9	22,3	110	1,18	0,15	0,24	7,33	8,75	5,61	-2,24	-3,48	-1,2	-1,92	-0,93	-1,51	1,61
i	2	477	3779	4858	4,76	17,2	19	20,6	450	4,52	0,28	0,82	9,72	20,5	7,51	-2,21	-3,24	-0,53	-1,41	-1,68	-1,03	-0,08
i	2	477	3779	4858	4,76	17,2	19	20,6	360	3,7	0,28	0,82	9,72	20,5	7,51	-2,21	-3,24	-0,53	-1,41	-1,68	-1,03	-0,08
i	2	477	3779	4858	4,76	17,2	19	20,6	300	3,13	0,28	0,82	9,72	20,5	7,51	-2,21	-3,24	-0,53	-1,41	-1,68	-1,03	-0,08
i	2	477	3779	4858	4,76	17,2	19	20,6	270	2,83	0,28	0,82	9,72	20,5	7,51	-2,21	-3,24	-0,53	-1,41	-1,68	-1,03	-0,08
i	2	477	3779	4858	4,76	17,2	19	20,6	240	2,53	0,28	0,82	9,72	20,5	7,51	-2,21	-3,24	-0,53	-1,41	-1,68	-1,03	-0,08
i	2	477	3779	4858	4,76	17,2	19	20,6	210	2,22	0,28	0,82	9,72	20,5	7,51	-2,21	-3,24	-0,53	-1,41	-1,68	-1,03	-0,08
i	2	477	3779	4858	4,76	17,2	19	20,6	110	1,18	0,28	0,82	9,72	20,5	7,51	-2,21	-3,24	-0,53	-1,41	-1,68	-1,03	-0,08
i	4	437	3493	4592	4,41	16,7	18,6	20,2	450	4,52	0,29	0,89	10,5	25,5	8,17	-2,21	-3,24	-0,53	-1,41	-1,68	-1,03	-0,08
i	4	437	3493	4592	4,41	16,7	18,6	20,2	360	3,7	0,29	0,89	10,5	25,5	8,17	-2,21	-3,24	-0,53	-1,41	-1,68	-1,03	-0,08
i	4	437	3493	4592	4,41	16,7	18,6	20,2	300	3,13	0,29	0,89	10,5	25,5	8,17	-2,21	-3,24	-0,53	-1,41	-1,68	-1,03	-0,08
i	4	437	3493	4592	4,41	16,7	18,6	20,2	270	2,83	0,29	0,89	10,5	25,5	8,17	-2,21	-3,24	-0,53	-1,41	-1,68	-1,03	-0,08
i	4	437	3493	4592	4,41	16,7	18,6	20,2	240	2,53	0,29	0,89	10,5	25,5	8,17	-2,21	-3,24	-0,53	-1,41	-1,68	-1,03	-0,08
i	4	437	3493	4592	4,41	16,7	18,6	20,2	210	2,22	0,29	0,89	10,5	25,5	8,17	-2,21	-3,24	-0,53	-1,41	-1,68	-1,03	-0,08
i	4	437	3493	4592	4,41	16,7	18,6	20,2	110	1,18	0,29	0,89	10,5	25,5	8,17	-2,21	-3,24	-0,53	-1,41	-1,68	-1,03	-0,08
i	8	386	3210	4142	3,94	16,1	17,9	19,6	450	4,52	0,34	1,38	11,6	35,2	8,86	-2,21	-3,45	-0,31	-1,72	-1,89	-0,59	0,55
i	8	386	3210	4142	3,94	16,1	17,9	19,6	360	3,7	0,34	1,38	11,6	35,2	8,86	-2,21	-3,45	-0,31	-1,72	-1,89	-0,59	0,55
i	8	386	3210	4142	3,94	16,1	17,9	19,6	300	3,13	0,34	1,38	11,6	35,2	8,86	-2,21	-3,45	-0,31	-1,72	-1,89	-0,59	0,55
i	8	386	3210	4142	3,94	16,1	17,9	19,6	270	2,83	0,34	1,38	11,6	35,2	8,86	-2,21	-3,45	-0,31	-1,72	-1,89	-0,59	0,55
i	8	386	3210	4142	3,94	16,1	17,9	19,6	240	2,53	0,34	1,38	11,6	35,2	8,86	-2,21	-3,45	-0,31	-1,72	-1,89	-0,59	0,55
i	8	386	3210	4142	3,94	16,1	17,9	19,6	210	2,22	0,34	1,38	11,6	35,2	8,86	-2,21	-3,45	-0,31	-1,72	-1,89	-0,59	0,55
i	8	386	3210	4142	3,94	16,1	17,9	19,6	110	1,18	0,34	1,38	11,6	35,2	8,86	-2,21	-3,45	-0,31	-1,72	-1,89	-0,59	0,55
i	12	338	2777	3839	3,49	15,1	17,3	18,8	450	4,52	0,38	1,59	13,1	50	10,2	-2,21	-3,45	-0,31	-1,72	-1,89	-0,59	0,55
i	12	338	2777	3839	3,49	15,1	17,3	18,8	360	3,7	0,38	1,59	13,1	50	10,2	-2,21	-3,45	-0,31	-1,72	-1,89	-0,59	0,55
i	12	338	2777	3839	3,49	15,1	17,3	18,8	300	3,13	0,38	1,59	13,1	50	10,2	-2,21	-3,45	-0,31	-1,72	-1,89	-0,59	0,55

Voyelle	Age	F1	F2	F3	Z1	Z2	Z3	Z4	F0	Z0	Ac	Al	Lgth	Vol	Xc	LipP	Body	LipH	Jaw	Apex	Drsm	Lx
i	12	338	2777	3839	3,49	15,1	17,3	18,8	270	2,83	0,38	1,59	13,1	50	10,2	-2,21	-3,45	-0,31	-1,72	-1,89	-0,59	0,55
i	12	338	2777	3839	3,49	15,1	17,3	18,8	240	2,53	0,38	1,59	13,1	50	10,2	-2,21	-3,45	-0,31	-1,72	-1,89	-0,59	0,55
i	12	338	2777	3839	3,49	15,1	17,3	18,8	210	2,22	0,38	1,59	13,1	50	10,2	-2,21	-3,45	-0,31	-1,72	-1,89	-0,59	0,55
i	12	338	2777	3839	3,49	15,1	17,3	18,8	110	1,18	0,38	1,59	13,1	50	10,2	-2,21	-3,45	-0,31	-1,72	-1,89	-0,59	0,55
i	16	283	2399	3549	2,96	14,1	16,8	17,9	450	4,52	0,35	1,51	14,9	67,9	11,7	-2,2	-2,93	-0,32	-0,79	-1,88	-0,28	0,66
i	16	283	2399	3549	2,96	14,1	16,8	17,9	360	3,7	0,35	1,51	14,9	67,9	11,7	-2,2	-2,93	-0,32	-0,79	-1,88	-0,28	0,66
i	16	283	2399	3549	2,96	14,1	16,8	17,9	300	3,13	0,35	1,51	14,9	67,9	11,7	-2,2	-2,93	-0,32	-0,79	-1,88	-0,28	0,66
i	16	283	2399	3549	2,96	14,1	16,8	17,9	270	2,83	0,35	1,51	14,9	67,9	11,7	-2,2	-2,93	-0,32	-0,79	-1,88	-0,28	0,66
i	16	283	2399	3549	2,96	14,1	16,8	17,9	240	2,53	0,35	1,51	14,9	67,9	11,7	-2,2	-2,93	-0,32	-0,79	-1,88	-0,28	0,66
i	16	283	2399	3549	2,96	14,1	16,8	17,9	210	2,22	0,35	1,51	14,9	67,9	11,7	-2,2	-2,93	-0,32	-0,79	-1,88	-0,28	0,66
i	16	283	2399	3549	2,96	14,1	16,8	17,9	110	1,18	0,35	1,51	14,9	67,9	11,7	-2,2	-2,93	-0,32	-0,79	-1,88	-0,28	0,66
i	21	246	2062	3363	2,59	13,1	16,4	17,4	450	4,52	0,33	1,77	16,6	96	13,6	-2,2	-3,06	-0,32	-0,79	-1,88	-0,81	0,66
i	21	246	2062	3363	2,59	13,1	16,4	17,4	360	3,7	0,33	1,77	16,6	96	13,6	-2,2	-3,06	-0,32	-0,79	-1,88	-0,81	0,66
i	21	246	2062	3363	2,59	13,1	16,4	17,4	300	3,13	0,33	1,77	16,6	96	13,6	-2,2	-3,06	-0,32	-0,79	-1,88	-0,81	0,66
i	21	246	2062	3363	2,59	13,1	16,4	17,4	270	2,83	0,33	1,77	16,6	96	13,6	-2,2	-3,06	-0,32	-0,79	-1,88	-0,81	0,66
i	21	246	2062	3363	2,59	13,1	16,4	17,4	240	2,53	0,33	1,77	16,6	96	13,6	-2,2	-3,06	-0,32	-0,79	-1,88	-0,81	0,66
i	21	246	2062	3363	2,59	13,1	16,4	17,4	210	2,22	0,33	1,77	16,6	96	13,6	-2,2	-3,06	-0,32	-0,79	-1,88	-0,81	0,66
e	0	843	4324	6041	7,54	18,2	20,5	21,8	450	4,52	0,41	1,67	7,53	8,62	4,93	-1,8	-1,82	0,65	-0,85	-0,54	0,41	1,82
e	0	843	4324	6041	7,54	18,2	20,5	21,8	360	3,7	0,41	1,67	7,53	8,62	4,93	-1,8	-1,82	0,65	-0,85	-0,54	0,41	1,82
e	0	843	4324	6041	7,54	18,2	20,5	21,8	300	3,13	0,41	1,67	7,53	8,62	4,93	-1,8	-1,82	0,65	-0,85	-0,54	0,41	1,82
e	0	843	4324	6041	7,54	18,2	20,5	21,8	270	2,83	0,41	1,67	7,53	8,62	4,93	-1,8	-1,82	0,65	-0,85	-0,54	0,41	1,82
e	0	843	4324	6041	7,54	18,2	20,5	21,8	240	2,53	0,41	1,67	7,53	8,62	4,93	-1,8	-1,82	0,65	-0,85	-0,54	0,41	1,82
e	0	843	4324	6041	7,54	18,2	20,5	21,8	210	2,22	0,41	1,67	7,53	8,62	4,93	-1,8	-1,82	0,65	-0,85	-0,54	0,41	1,82
e	0	843	4324	6041	7,54	18,2	20,5	21,8	110	1,18	0,41	1,67	7,53	8,62	4,93	-1,8	-1,82	0,65	-0,85	-0,54	0,41	1,82
e	2	703	3342	4376	6,57	16,4	18,2	20,3	450	4,52	0,74	3,5	9,69	21,2	6,25	-1,56	-1,81	1,31	-1,6	-1,28	0,85	1,78
e	2	703	3342	4376	6,57	16,4	18,2	20,3	360	3,7	0,74	3,5	9,69	21,2	6,25	-1,56	-1,81	1,31	-1,6	-1,28	0,85	1,78
e	2	703	3342	4376	6,57	16,4	18,2	20,3	300	3,13	0,74	3,5	9,69	21,2	6,25	-1,56	-1,81	1,31	-1,6	-1,28	0,85	1,78
e	2	703	3342	4376	6,57	16,4	18,2	20,3	270	2,83	0,74	3,5	9,69	21,2	6,25	-1,56	-1,81	1,31	-1,6	-1,28	0,85	1,78
e	2	703	3342	4376	6,57	16,4	18,2	20,3	240	2,53	0,74	3,5	9,69	21,2	6,25	-1,56	-1,81	1,31	-1,6	-1,28	0,85	1,78
e	2	703	3342	4376	6,57	16,4	18,2	20,3	210	2,22	0,74	3,5	9,69	21,2	6,25	-1,56	-1,81	1,31	-1,6	-1,28	0,85	1,78

Voyelle	Age	F1	F2	F3	Z1	Z2	Z3	Z4	F0	Z0	Ac	Al	Lgth	Vol	Xc	LipP	Body	LipH	Jaw	Apex	Drsm	Lx
e	2	703	3342	4376	6,57	16,4	18,2	20,3	110	1,18	0,74	3,5	9,69	21,2	6,25	-1,56	-1,81	1,31	-1,6	-1,28	0,85	1,78
e	4	640	3189	4046	6,09	16,1	17,7	19,9	450	4,52	0,8	3,79	10,4	25,7	6,86	-1,56	-1,81	1,31	-1,6	-1,28	0,85	1,78
e	4	640	3189	4046	6,09	16,1	17,7	19,9	360	3,7	0,8	3,79	10,4	25,7	6,86	-1,56	-1,81	1,31	-1,6	-1,28	0,85	1,78
e	4	640	3189	4046	6,09	16,1	17,7	19,9	300	3,13	0,8	3,79	10,4	25,7	6,86	-1,56	-1,81	1,31	-1,6	-1,28	0,85	1,78
e	4	640	3189	4046	6,09	16,1	17,7	19,9	270	2,83	0,8	3,79	10,4	25,7	6,86	-1,56	-1,81	1,31	-1,6	-1,28	0,85	1,78
e	4	640	3189	4046	6,09	16,1	17,7	19,9	240	2,53	0,8	3,79	10,4	25,7	6,86	-1,56	-1,81	1,31	-1,6	-1,28	0,85	1,78
e	4	640	3189	4046	6,09	16,1	17,7	19,9	210	2,22	0,8	3,79	10,4	25,7	6,86	-1,56	-1,81	1,31	-1,6	-1,28	0,85	1,78
e	4	640	3189	4046	6,09	16,1	17,7	19,9	110	1,18	0,8	3,79	10,4	25,7	6,86	-1,56	-1,81	1,31	-1,6	-1,28	0,85	1,78
e	8	551	2844	3579	5,39	15,3	16,9	19,4	450	4,52	0,87	2,89	11,7	32,6	7,85	-1,68	-1,56	0,75	-1,15	-1,3	0,96	1,55
e	8	551	2844	3579	5,39	15,3	16,9	19,4	360	3,7	0,87	2,89	11,7	32,6	7,85	-1,68	-1,56	0,75	-1,15	-1,3	0,96	1,55
e	8	551	2844	3579	5,39	15,3	16,9	19,4	300	3,13	0,87	2,89	11,7	32,6	7,85	-1,68	-1,56	0,75	-1,15	-1,3	0,96	1,55
e	8	551	2844	3579	5,39	15,3	16,9	19,4	270	2,83	0,87	2,89	11,7	32,6	7,85	-1,68	-1,56	0,75	-1,15	-1,3	0,96	1,55
e	8	551	2844	3579	5,39	15,3	16,9	19,4	240	2,53	0,87	2,89	11,7	32,6	7,85	-1,68	-1,56	0,75	-1,15	-1,3	0,96	1,55
e	8	551	2844	3579	5,39	15,3	16,9	19,4	210	2,22	0,87	2,89	11,7	32,6	7,85	-1,68	-1,56	0,75	-1,15	-1,3	0,96	1,55
e	8	551	2844	3579	5,39	15,3	16,9	19,4	110	1,18	0,87	2,89	11,7	32,6	7,85	-1,68	-1,56	0,75	-1,15	-1,3	0,96	1,55
e	12	478	2572	3188	4,77	14,6	16,1	18,8	450	4,52	0,99	3,34	13,2	45,2	9,23	-1,68	-1,56	0,75	-1,15	-1,3	0,96	1,55
e	12	478	2572	3188	4,77	14,6	16,1	18,8	360	3,7	0,99	3,34	13,2	45,2	9,23	-1,68	-1,56	0,75	-1,15	-1,3	0,96	1,55
e	12	478	2572	3188	4,77	14,6	16,1	18,8	300	3,13	0,99	3,34	13,2	45,2	9,23	-1,68	-1,56	0,75	-1,15	-1,3	0,96	1,55
e	12	478	2572	3188	4,77	14,6	16,1	18,8	270	2,83	0,99	3,34	13,2	45,2	9,23	-1,68	-1,56	0,75	-1,15	-1,3	0,96	1,55
e	12	478	2572	3188	4,77	14,6	16,1	18,8	240	2,53	0,99	3,34	13,2	45,2	9,23	-1,68	-1,56	0,75	-1,15	-1,3	0,96	1,55
e	12	478	2572	3188	4,77	14,6	16,1	18,8	210	2,22	0,99	3,34	13,2	45,2	9,23	-1,68	-1,56	0,75	-1,15	-1,3	0,96	1,55
e	12	478	2572	3188	4,77	14,6	16,1	18,8	110	1,18	0,99	3,34	13,2	45,2	9,23	-1,68	-1,56	0,75	-1,15	-1,3	0,96	1,55
e	16	426	2211	2904	4,31	13,6	15,4	18	450	4,52	1,34	5,52	15,2	61,1	10,9	-2,31	-0,46	1,6	0,75	-1,66	1,03	0,58
e	16	426	2211	2904	4,31	13,6	15,4	18	360	3,7	1,34	5,52	15,2	61,1	10,9	-2,31	-0,46	1,6	0,75	-1,66	1,03	0,58
e	16	426	2211	2904	4,31	13,6	15,4	18	300	3,13	1,34	5,52	15,2	61,1	10,9	-2,31	-0,46	1,6	0,75	-1,66	1,03	0,58
e	16	426	2211	2904	4,31	13,6	15,4	18	270	2,83	1,34	5,52	15,2	61,1	10,9	-2,31	-0,46	1,6	0,75	-1,66	1,03	0,58
e	16	426	2211	2904	4,31	13,6	15,4	18	240	2,53	1,34	5,52	15,2	61,1	10,9	-2,31	-0,46	1,6	0,75	-1,66	1,03	0,58
e	16	426	2211	2904	4,31	13,6	15,4	18	210	2,22	1,34	5,52	15,2	61,1	10,9	-2,31	-0,46	1,6	0,75	-1,66	1,03	0,58
e	16	426	2211	2904	4,31	13,6	15,4	18	110	1,18	1,34	5,52	15,2	61,1	10,9	-2,31	-0,46	1,6	0,75	-1,66	1,03	0,58
e	21	363	1914	2476	3,73	12,6	14,3	16,8	450	4,52	1,42	2,78	17,3	86,5	12,8	-1,78	-1,49	0,14	-0,96	-1,4	0,8	0,58
e	21	363	1914	2476	3,73	12,6	14,3	16,8	360	3,7	1,42	2,78	17,3	86,5	12,8	-1,78	-1,49	0,14	-0,96	-1,4	0,8	0,58

Voyelle	Age	F1	F2	F3	Z1	Z2	Z3	Z4	F0	Z0	Ac	Al	Lgth	Vol	Xc	LipP	Body	LipH	Jaw	Apex	Drsm	Lx
e	21	363	1914	2476	3,73	12,6	14,3	16,8	300	3,13	1,42	2,78	17,3	86,5	12,8	-1,78	-1,49	0,14	-0,96	-1,4	0,8	0,58
e	21	363	1914	2476	3,73	12,6	14,3	16,8	270	2,83	1,42	2,78	17,3	86,5	12,8	-1,78	-1,49	0,14	-0,96	-1,4	0,8	0,58
e	21	363	1914	2476	3,73	12,6	14,3	16,8	240	2,53	1,42	2,78	17,3	86,5	12,8	-1,78	-1,49	0,14	-0,96	-1,4	0,8	0,58
e	21	363	1914	2476	3,73	12,6	14,3	16,8	210	2,22	1,42	2,78	17,3	86,5	12,8	-1,78	-1,49	0,14	-0,96	-1,4	0,8	0,58
e	21	363	1914	2476	3,73	12,6	14,3	16,8	110	1,18	1,42	2,78	17,3	86,5	12,8	-1,78	-1,49	0,14	-0,96	-1,4	0,8	0,58
ε	0	1146	3971	5883	9,33	17,57	20,29	21,58	450	4,52	0,38	4,90	7,54	11,82	4,62	-1,64	-1,92	2,31	-2,72	-0,32	-0,06	1,31
ε	0	1146	3971	5883	9,33	17,57	20,29	21,58	360	3,70	0,38	4,90	7,54	11,82	4,62	-1,64	-1,92	2,31	-2,72	-0,32	-0,06	1,31
ε	0	1146	3971	5883	9,33	17,57	20,29	21,58	300	3,13	0,38	4,90	7,54	11,82	4,62	-1,64	-1,92	2,31	-2,72	-0,32	-0,06	1,31
ε	0	1146	3971	5883	9,33	17,57	20,29	21,58	270	2,83	0,38	4,90	7,54	11,82	4,62	-1,64	-1,92	2,31	-2,72	-0,32	-0,06	1,31
ε	0	1146	3971	5883	9,33	17,57	20,29	21,58	240	2,53	0,38	4,90	7,54	11,82	4,62	-1,64	-1,92	2,31	-2,72	-0,32	-0,06	1,31
ε	0	1146	3971	5883	9,33	17,57	20,29	21,58	210	2,22	0,38	4,90	7,54	11,82	4,62	-1,64	-1,92	2,31	-2,72	-0,32	-0,06	1,31
ε	0	1146	3971	5883	9,33	17,57	20,29	21,58	110	1,18	0,38	4,90	7,54	11,82	4,62	-1,64	-1,92	2,31	-2,72	-0,32	-0,06	1,31
ε	2	934	2981	4263	8,11	15,60	18,06	20,17	450	4,52	0,53	4,24	9,83	19,76	5,65	-1,57	-0,72	1,48	-2,56	0,75	0,72	0,82
ε	2	934	2981	4263	8,11	15,60	18,06	20,17	360	3,70	0,53	4,24	9,83	19,76	5,65	-1,57	-0,72	1,48	-2,56	0,75	0,72	0,82
ε	2	934	2981	4263	8,11	15,60	18,06	20,17	300	3,13	0,53	4,24	9,83	19,76	5,65	-1,57	-0,72	1,48	-2,56	0,75	0,72	0,82
ε	2	934	2981	4263	8,11	15,60	18,06	20,17	270	2,83	0,53	4,24	9,83	19,76	5,65	-1,57	-0,72	1,48	-2,56	0,75	0,72	0,82
ε	2	934	2981	4263	8,11	15,60	18,06	20,17	240	2,53	0,53	4,24	9,83	19,76	5,65	-1,57	-0,72	1,48	-2,56	0,75	0,72	0,82
ε	2	934	2981	4263	8,11	15,60	18,06	20,17	210	2,22	0,53	4,24	9,83	19,76	5,65	-1,57	-0,72	1,48	-2,56	0,75	0,72	0,82
ε	2	934	2981	4263	8,11	15,60	18,06	20,17	110	1,18	0,53	4,24	9,83	19,76	5,65	-1,57	-0,72	1,48	-2,56	0,75	0,72	0,82
ε	4	852	2822	3919	7,60	15,22	17,48	19,80	450	4,52	0,62	4,59	10,59	23,48	6,25	-1,57	-0,72	1,48	-2,56	0,75	0,72	0,82
ε	4	852	2822	3919	7,60	15,22	17,48	19,80	360	3,70	0,62	4,59	10,59	23,48	6,25	-1,57	-0,72	1,48	-2,56	0,75	0,72	0,82
ε	4	852	2822	3919	7,60	15,22	17,48	19,80	300	3,13	0,62	4,59	10,59	23,48	6,25	-1,57	-0,72	1,48	-2,56	0,75	0,72	0,82
ε	4	852	2822	3919	7,60	15,22	17,48	19,80	270	2,83	0,62	4,59	10,59	23,48	6,25	-1,57	-0,72	1,48	-2,56	0,75	0,72	0,82
ε	4	852	2822	3919	7,60	15,22	17,48	19,80	240	2,53	0,62	4,59	10,59	23,48	6,25	-1,57	-0,72	1,48	-2,56	0,75	0,72	0,82
ε	4	852	2822	3919	7,60	15,22	17,48	19,80	210	2,22	0,62	4,59	10,59	23,48	6,25	-1,57	-0,72	1,48	-2,56	0,75	0,72	0,82
ε	4	852	2822	3919	7,60	15,22	17,48	19,80	110	1,18	0,62	4,59	10,59	23,48	6,25	-1,57	-0,72	1,48	-2,56	0,75	0,72	0,82
ε	8	744	2550	3437	6,86	14,53	16,57	18,99	450	4,52	1,07	6,51	11,88	40,27	7,79	-1,64	-1,52	1,84	-3,15	-1,43	0,51	0,23
ε	8	744	2550	3437	6,86	14,53	16,57	18,99	360	3,70	1,07	6,51	11,88	40,27	7,79	-1,64	-1,52	1,84	-3,15	-1,43	0,51	0,23
ε	8	744	2550	3437	6,86	14,53	16,57	18,99	300	3,13	1,07	6,51	11,88	40,27	7,79	-1,64	-1,52	1,84	-3,15	-1,43	0,51	0,23
ε	8	744	2550	3437	6,86	14,53	16,57	18,99	270	2,83	1,07	6,51	11,88	40,27	7,79	-1,64	-1,52	1,84	-3,15	-1,43	0,51	0,23
ε	8	744	2550	3437	6,86	14,53	16,57	18,99	240	2,53	1,07	6,51	11,88	40,27	7,79	-1,64	-1,52	1,84	-3,15	-1,43	0,51	0,23

Voyelle	Age	F1	F2	F3	Z1	Z2	Z3	Z4	F0	Z0	Ac	Al	Lgth	Vol	Xc	LipP	Body	LipH	Jaw	Apex	Drsm	Lx
ε	8	744	2550	3437	6,86	14,53	16,57	18,99	210	2,22	1,07	6,51	11,88	40,27	7,79	-1,64	-1,52	1,84	-3,15	-1,43	0,51	0,23
ε	8	744	2550	3437	6,86	14,53	16,57	18,99	110	1,18	1,07	6,51	11,88	40,27	7,79	-1,64	-1,52	1,84	-3,15	-1,43	0,51	0,23
ε	12	644	2296	3056	6,12	13,82	15,77	18,20	450	4,52	1,34	7,52	13,47	53,95	9,11	-1,64	-1,52	1,84	-3,15	-1,43	0,51	0,23
ε	12	644	2296	3056	6,12	13,82	15,77	18,20	360	3,70	1,34	7,52	13,47	53,95	9,11	-1,64	-1,52	1,84	-3,15	-1,43	0,51	0,23
ε	12	644	2296	3056	6,12	13,82	15,77	18,20	300	3,13	1,34	7,52	13,47	53,95	9,11	-1,64	-1,52	1,84	-3,15	-1,43	0,51	0,23
ε	12	644	2296	3056	6,12	13,82	15,77	18,20	270	2,83	1,34	7,52	13,47	53,95	9,11	-1,64	-1,52	1,84	-3,15	-1,43	0,51	0,23
ε	12	644	2296	3056	6,12	13,82	15,77	18,20	240	2,53	1,34	7,52	13,47	53,95	9,11	-1,64	-1,52	1,84	-3,15	-1,43	0,51	0,23
ε	12	644	2296	3056	6,12	13,82	15,77	18,20	210	2,22	1,34	7,52	13,47	53,95	9,11	-1,64	-1,52	1,84	-3,15	-1,43	0,51	0,23
ε	12	644	2296	3056	6,12	13,82	15,77	18,20	110	1,18	1,34	7,52	13,47	53,95	9,11	-1,64	-1,52	1,84	-3,15	-1,43	0,51	0,23
ε	16	585	1881	2770	5,66	12,49	15,09	17,76	450	4,52	1,42	4,25	14,95	51,11	9,63	-1,43	0,47	1,08	-0,32	0,34	-0,15	0,95
ε	16	585	1881	2770	5,66	12,49	15,09	17,76	360	3,70	1,42	4,25	14,95	51,11	9,63	-1,43	0,47	1,08	-0,32	0,34	-0,15	0,95
ε	16	585	1881	2770	5,66	12,49	15,09	17,76	300	3,13	1,42	4,25	14,95	51,11	9,63	-1,43	0,47	1,08	-0,32	0,34	-0,15	0,95
ε	16	585	1881	2770	5,66	12,49	15,09	17,76	270	2,83	1,42	4,25	14,95	51,11	9,63	-1,43	0,47	1,08	-0,32	0,34	-0,15	0,95
ε	16	585	1881	2770	5,66	12,49	15,09	17,76	240	2,53	1,42	4,25	14,95	51,11	9,63	-1,43	0,47	1,08	-0,32	0,34	-0,15	0,95
ε	16	585	1881	2770	5,66	12,49	15,09	17,76	210	2,22	1,42	4,25	14,95	51,11	9,63	-1,43	0,47	1,08	-0,32	0,34	-0,15	0,95
ε	16	585	1881	2770	5,66	12,49	15,09	17,76	110	1,18	1,42	4,25	14,95	51,11	9,63	-1,43	0,47	1,08	-0,32	0,34	-0,15	0,95
ε	21	491	1665	2367	4,88	11,69	14,03	17,01	450	4,52	1,74	2,98	17,01	72,89	11,40	-1,49	-0,28	0,07	-1,91	0,04	0,68	1,75
ε	21	491	1665	2367	4,88	11,69	14,03	17,01	360	3,70	1,74	2,98	17,01	72,89	11,40	-1,49	-0,28	0,07	-1,91	0,04	0,68	1,75
ε	21	491	1665	2367	4,88	11,69	14,03	17,01	300	3,13	1,74	2,98	17,01	72,89	11,40	-1,49	-0,28	0,07	-1,91	0,04	0,68	1,75
ε	21	491	1665	2367	4,88	11,69	14,03	17,01	270	2,83	1,74	2,98	17,01	72,89	11,40	-1,49	-0,28	0,07	-1,91	0,04	0,68	1,75
ε	21	491	1665	2367	4,88	11,69	14,03	17,01	240	2,53	1,74	2,98	17,01	72,89	11,40	-1,49	-0,28	0,07	-1,91	0,04	0,68	1,75
ε	21	491	1665	2367	4,88	11,69	14,03	17,01	210	2,22	1,74	2,98	17,01	72,89	11,40	-1,49	-0,28	0,07	-1,91	0,04	0,68	1,75
ε	21	491	1665	2367	4,88	11,69	14,03	17,01	110	1,18	1,74	2,98	17,01	72,89	11,40	-1,49	-0,28	0,07	-1,91	0,04	0,68	1,75
a	0	1660	3000	5611	11,67	15,64	19,96	21,26	450	4,52	0,32	3,54	7,47	15,39	1,93	-1,29	1,64	1,93	-1,24	-0,08	0,61	2
a	0	1660	3000	5611	11,67	15,64	19,96	21,26	360	3,70	0,32	3,54	7,47	15,39	1,93	-1,29	1,64	1,93	-1,24	-0,08	0,61	2
a	0	1660	3000	5611	11,67	15,64	19,96	21,26	300	3,13	0,32	3,54	7,47	15,39	1,93	-1,29	1,64	1,93	-1,24	-0,08	0,61	2
a	0	1660	3000	5611	11,67	15,64	19,96	21,26	270	2,83	0,32	3,54	7,47	15,39	1,93	-1,29	1,64	1,93	-1,24	-0,08	0,61	2
a	0	1660	3000	5611	11,67	15,64	19,96	21,26	240	2,53	0,32	3,54	7,47	15,39	1,93	-1,29	1,64	1,93	-1,24	-0,08	0,61	2
a	0	1660	3000	5611	11,67	15,64	19,96	21,26	210	2,22	0,32	3,54	7,47	15,39	1,93	-1,29	1,64	1,93	-1,24	-0,08	0,61	2
a	0	1660	3000	5611	11,67	15,64	19,96	21,26	110	1,18	0,32	3,54	7,47	15,39	1,93	-1,29	1,64	1,93	-1,24	-0,08	0,61	2
a	2	1315	2196	4112	10,18	13,52	17,81	19,92	450	4,52	0,60	5,87	9,55	35,21	2,50	-2,36	2,1	2,13	-2,23	-2,01	-0,3	2

Voyelle	Age	F1	F2	F3	Z1	Z2	Z3	Z4	F0	Z0	Ac	Al	Lgth	Vol	Xc	LipP	Body	LipH	Jaw	Apex	Drsm	Lx
a	2	1315	2196	4112	10,18	13,52	17,81	19,92	360	3,70	0,60	5,87	9,55	35,21	2,50	-2,36	2,1	2,13	-2,23	-2,01	-0,3	2
a	2	1315	2196	4112	10,18	13,52	17,81	19,92	300	3,13	0,60	5,87	9,55	35,21	2,50	-2,36	2,1	2,13	-2,23	-2,01	-0,3	2
a	2	1315	2196	4112	10,18	13,52	17,81	19,92	270	2,83	0,60	5,87	9,55	35,21	2,50	-2,36	2,1	2,13	-2,23	-2,01	-0,3	2
a	2	1315	2196	4112	10,18	13,52	17,81	19,92	240	2,53	0,60	5,87	9,55	35,21	2,50	-2,36	2,1	2,13	-2,23	-2,01	-0,3	2
a	2	1315	2196	4112	10,18	13,52	17,81	19,92	210	2,22	0,60	5,87	9,55	35,21	2,50	-2,36	2,1	2,13	-2,23	-2,01	-0,3	2
a	2	1315	2196	4112	10,18	13,52	17,81	19,92	110	1,18	0,60	5,87	9,55	35,21	2,50	-2,36	2,1	2,13	-2,23	-2,01	-0,3	2
a	4	1216	2026	3782	9,69	12,98	17,23	19,54	450	4,52	0,69	6,35	10,32	39,99	2,83	-2,36	2,1	2,13	-2,23	-2,01	-0,3	2
a	4	1216	2026	3782	9,69	12,98	17,23	19,54	360	3,70	0,69	6,35	10,32	39,99	2,83	-2,36	2,1	2,13	-2,23	-2,01	-0,3	2
a	4	1216	2026	3782	9,69	12,98	17,23	19,54	300	3,13	0,69	6,35	10,32	39,99	2,83	-2,36	2,1	2,13	-2,23	-2,01	-0,3	2
a	4	1216	2026	3782	9,69	12,98	17,23	19,54	270	2,83	0,69	6,35	10,32	39,99	2,83	-2,36	2,1	2,13	-2,23	-2,01	-0,3	2
a	4	1216	2026	3782	9,69	12,98	17,23	19,54	240	2,53	0,69	6,35	10,32	39,99	2,83	-2,36	2,1	2,13	-2,23	-2,01	-0,3	2
a	4	1216	2026	3782	9,69	12,98	17,23	19,54	210	2,22	0,69	6,35	10,32	39,99	2,83	-2,36	2,1	2,13	-2,23	-2,01	-0,3	2
a	4	1216	2026	3782	9,69	12,98	17,23	19,54	110	1,18	0,69	6,35	10,32	39,99	2,83	-2,36	2,1	2,13	-2,23	-2,01	-0,3	2
a	8	1058	1750	3320	8,84	12,01	16,33	19,15	450	4,52	0,71	5,44	11,58	48,76	3,21	-2,25	2,17	1,49	-2,55	-2,05	-0,64	1,91
a	8	1058	1750	3320	8,84	12,01	16,33	19,15	360	3,70	0,71	5,44	11,58	48,76	3,21	-2,25	2,17	1,49	-2,55	-2,05	-0,64	1,91
a	8	1058	1750	3320	8,84	12,01	16,33	19,15	300	3,13	0,71	5,44	11,58	48,76	3,21	-2,25	2,17	1,49	-2,55	-2,05	-0,64	1,91
a	8	1058	1750	3320	8,84	12,01	16,33	19,15	270	2,83	0,71	5,44	11,58	48,76	3,21	-2,25	2,17	1,49	-2,55	-2,05	-0,64	1,91
a	8	1058	1750	3320	8,84	12,01	16,33	19,15	240	2,53	0,71	5,44	11,58	48,76	3,21	-2,25	2,17	1,49	-2,55	-2,05	-0,64	1,91
a	8	1058	1750	3320	8,84	12,01	16,33	19,15	210	2,22	0,71	5,44	11,58	48,76	3,21	-2,25	2,17	1,49	-2,55	-2,05	-0,64	1,91
a	8	1058	1750	3320	8,84	12,01	16,33	19,15	110	1,18	0,71	5,44	11,58	48,76	3,21	-2,25	2,17	1,49	-2,55	-2,05	-0,64	1,91
a	12	931	1541	2885	8,10	11,19	15,37	18,51	450	4,52	0,89	6,29	13,19	61,16	3,83	-2,25	2,17	1,49	-2,55	-2,05	-0,64	1,91
a	12	931	1541	2885	8,10	11,19	15,37	18,51	360	3,70	0,89	6,29	13,19	61,16	3,83	-2,25	2,17	1,49	-2,55	-2,05	-0,64	1,91
a	12	931	1541	2885	8,10	11,19	15,37	18,51	300	3,13	0,89	6,29	13,19	61,16	3,83	-2,25	2,17	1,49	-2,55	-2,05	-0,64	1,91
a	12	931	1541	2885	8,10	11,19	15,37	18,51	270	2,83	0,89	6,29	13,19	61,16	3,83	-2,25	2,17	1,49	-2,55	-2,05	-0,64	1,91
a	12	931	1541	2885	8,10	11,19	15,37	18,51	240	2,53	0,89	6,29	13,19	61,16	3,83	-2,25	2,17	1,49	-2,55	-2,05	-0,64	1,91
a	12	931	1541	2885	8,10	11,19	15,37	18,51	210	2,22	0,89	6,29	13,19	61,16	3,83	-2,25	2,17	1,49	-2,55	-2,05	-0,64	1,91
a	12	931	1541	2885	8,10	11,19	15,37	18,51	110	1,18	0,89	6,29	13,19	61,16	3,83	-2,25	2,17	1,49	-2,55	-2,05	-0,64	1,91
a	16	806	1324	2517	7,29	10,22	14,44	18,02	450	4,52	0,83	5,53	14,93	78,11	4,08	-2,25	2,17	0,95	-2,61	-2,08	-1,7	1,65
a	16	806	1324	2517	7,29	10,22	14,44	18,02	360	3,70	0,83	5,53	14,93	78,11	4,08	-2,25	2,17	0,95	-2,61	-2,08	-1,7	1,65
a	16	806	1324	2517	7,29	10,22	14,44	18,02	300	3,13	0,83	5,53	14,93	78,11	4,08	-2,25	2,17	0,95	-2,61	-2,08	-1,7	1,65
a	16	806	1324	2517	7,29	10,22	14,44	18,02	270	2,83	0,83	5,53	14,93	78,11	4,08	-2,25	2,17	0,95	-2,61	-2,08	-1,7	1,65



Voyelle	Age	F1	F2	F3	Z1	Z2	Z3	Z4	F0	Z0	Ac	Al	Lgth	Vol	Xc	LipP	Body	LipH	Jaw	Apex	Drsm	Lx
a	16	806	1324	2517	7,29	10,22	14,44	18,02	240	2,53	0,83	5,53	14,93	78,11	4,08	-2,25	2,17	0,95	-2,61	-2,08	-1,7	1,65
a	16	806	1324	2517	7,29	10,22	14,44	18,02	210	2,22	0,83	5,53	14,93	78,11	4,08	-2,25	2,17	0,95	-2,61	-2,08	-1,7	1,65
a	16	806	1324	2517	7,29	10,22	14,44	18,02	110	1,18	0,83	5,53	14,93	78,11	4,08	-2,25	2,17	0,95	-2,61	-2,08	-1,7	1,65
a	21	704	1232	2239	6,57	9,77	13,65	17,10	450	4,52	1,26	6,20	16,98	100,12	4,77	-1,9	1,65	0,81	-3,18	-1,93	-1,56	1,62
a	21	704	1232	2239	6,57	9,77	13,65	17,10	360	3,70	1,26	6,20	16,98	100,12	4,77	-1,9	1,65	0,81	-3,18	-1,93	-1,56	1,62
a	21	704	1232	2239	6,57	9,77	13,65	17,10	300	3,13	1,26	6,20	16,98	100,12	4,77	-1,9	1,65	0,81	-3,18	-1,93	-1,56	1,62
a	21	704	1232	2239	6,57	9,77	13,65	17,10	270	2,83	1,26	6,20	16,98	100,12	4,77	-1,9	1,65	0,81	-3,18	-1,93	-1,56	1,62
a	21	704	1232	2239	6,57	9,77	13,65	17,10	240	2,53	1,26	6,20	16,98	100,12	4,77	-1,9	1,65	0,81	-3,18	-1,93	-1,56	1,62
a	21	704	1232	2239	6,57	9,77	13,65	17,10	210	2,22	1,26	6,20	16,98	100,12	4,77	-1,9	1,65	0,81	-3,18	-1,93	-1,56	1,62
a	21	704	1232	2239	6,57	9,77	13,65	17,10	110	1,18	1,26	6,20	16,98	100,12	4,77	-1,9	1,65	0,81	-3,18	-1,93	-1,56	1,62
y	0	553	3632	5421	5,40	16,95	19,72	21,84	450	4,52	0,14	0,15	7,82	8,57	5,51	2,2	-2,85	-0,7	-0,54	-1,67	-0,53	1,14
y	0	553	3632	5421	5,40	16,95	19,72	21,84	360	3,70	0,14	0,15	7,82	8,57	5,51	2,2	-2,85	-0,7	-0,54	-1,67	-0,53	1,14
y	0	553	3632	5421	5,40	16,95	19,72	21,84	300	3,13	0,14	0,15	7,82	8,57	5,51	2,2	-2,85	-0,7	-0,54	-1,67	-0,53	1,14
y	0	553	3632	5421	5,40	16,95	19,72	21,84	270	2,83	0,14	0,15	7,82	8,57	5,51	2,2	-2,85	-0,7	-0,54	-1,67	-0,53	1,14
y	0	553	3632	5421	5,40	16,95	19,72	21,84	240	2,53	0,14	0,15	7,82	8,57	5,51	2,2	-2,85	-0,7	-0,54	-1,67	-0,53	1,14
y	0	553	3632	5421	5,40	16,95	19,72	21,84	210	2,22	0,14	0,15	7,82	8,57	5,51	2,2	-2,85	-0,7	-0,54	-1,67	-0,53	1,14
y	0	553	3632	5421	5,40	16,95	19,72	21,84	110	1,18	0,14	0,15	7,82	8,57	5,51	2,2	-2,85	-0,7	-0,54	-1,67	-0,53	1,14
y	2	469	2974	4003	4,69	15,58	17,62	19,94	450	4,52	0,36	0,24	10,31	19,69	7,57	2,24	-2,18	-0,45	0,06	-1,89	-0,29	-0,82
y	2	469	2974	4003	4,69	15,58	17,62	19,94	360	3,70	0,36	0,24	10,31	19,69	7,57	2,24	-2,18	-0,45	0,06	-1,89	-0,29	-0,82
y	2	469	2974	4003	4,69	15,58	17,62	19,94	300	3,13	0,36	0,24	10,31	19,69	7,57	2,24	-2,18	-0,45	0,06	-1,89	-0,29	-0,82
y	2	469	2974	4003	4,69	15,58	17,62	19,94	270	2,83	0,36	0,24	10,31	19,69	7,57	2,24	-2,18	-0,45	0,06	-1,89	-0,29	-0,82
y	2	469	2974	4003	4,69	15,58	17,62	19,94	240	2,53	0,36	0,24	10,31	19,69	7,57	2,24	-2,18	-0,45	0,06	-1,89	-0,29	-0,82
y	2	469	2974	4003	4,69	15,58	17,62	19,94	210	2,22	0,36	0,24	10,31	19,69	7,57	2,24	-2,18	-0,45	0,06	-1,89	-0,29	-0,82
y	2	469	2974	4003	4,69	15,58	17,62	19,94	110	1,18	0,36	0,24	10,31	19,69	7,57	2,24	-2,18	-0,45	0,06	-1,89	-0,29	-0,82
y	4	430	2854	3681	4,35	15,30	17,04	19,51	450	4,52	0,38	0,26	11,09	24,55	8,25	2,24	-2,18	-0,45	0,06	-1,89	-0,29	-0,82
y	4	430	2854	3681	4,35	15,30	17,04	19,51	360	3,70	0,38	0,26	11,09	24,55	8,25	2,24	-2,18	-0,45	0,06	-1,89	-0,29	-0,82
y	4	430	2854	3681	4,35	15,30	17,04	19,51	300	3,13	0,38	0,26	11,09	24,55	8,25	2,24	-2,18	-0,45	0,06	-1,89	-0,29	-0,82
y	4	430	2854	3681	4,35	15,30	17,04	19,51	270	2,83	0,38	0,26	11,09	24,55	8,25	2,24	-2,18	-0,45	0,06	-1,89	-0,29	-0,82
y	4	430	2854	3681	4,35	15,30	17,04	19,51	240	2,53	0,38	0,26	11,09	24,55	8,25	2,24	-2,18	-0,45	0,06	-1,89	-0,29	-0,82
y	4	430	2854	3681	4,35	15,30	17,04	19,51	210	2,22	0,38	0,26	11,09	24,55	8,25	2,24	-2,18	-0,45	0,06	-1,89	-0,29	-0,82
y	4	430	2854	3681	4,35	15,30	17,04	19,51	110	1,18	0,38	0,26	11,09	24,55	8,25	2,24	-2,18	-0,45	0,06	-1,89	-0,29	-0,82

Voyelle	Age	F1	F2	F3	Z1	Z2	Z3	Z4	F0	Z0	Ac	AI	Lgth	Vol	Xc	LipP	Body	LipH	Jaw	Apex	Drsm	Lx
y	8	360	2482	3195	3,70	14,35	16,07	18,78	450	4,52	0,39	0,18	12,41	33,30	9,36	2,29	-2,19	-0,64	0,1	-1,91	-0,22	-0,97
y	8	360	2482	3195	3,70	14,35	16,07	18,78	360	3,70	0,39	0,18	12,41	33,30	9,36	2,29	-2,19	-0,64	0,1	-1,91	-0,22	-0,97
y	8	360	2482	3195	3,70	14,35	16,07	18,78	300	3,13	0,39	0,18	12,41	33,30	9,36	2,29	-2,19	-0,64	0,1	-1,91	-0,22	-0,97
y	8	360	2482	3195	3,70	14,35	16,07	18,78	270	2,83	0,39	0,18	12,41	33,30	9,36	2,29	-2,19	-0,64	0,1	-1,91	-0,22	-0,97
y	8	360	2482	3195	3,70	14,35	16,07	18,78	240	2,53	0,39	0,18	12,41	33,30	9,36	2,29	-2,19	-0,64	0,1	-1,91	-0,22	-0,97
y	8	360	2482	3195	3,70	14,35	16,07	18,78	210	2,22	0,39	0,18	12,41	33,30	9,36	2,29	-2,19	-0,64	0,1	-1,91	-0,22	-0,97
y	8	360	2482	3195	3,70	14,35	16,07	18,78	110	1,18	0,39	0,18	12,41	33,30	9,36	2,29	-2,19	-0,64	0,1	-1,91	-0,22	-0,97
y	12	317	2291	2791	3,29	13,81	15,15	17,87	450	4,52	0,44	0,21	14,03	47,41	10,78	2,29	-2,19	-0,64	0,1	-1,91	-0,22	-0,97
y	12	317	2291	2791	3,29	13,81	15,15	17,87	360	3,70	0,44	0,21	14,03	47,41	10,78	2,29	-2,19	-0,64	0,1	-1,91	-0,22	-0,97
y	12	317	2291	2791	3,29	13,81	15,15	17,87	300	3,13	0,44	0,21	14,03	47,41	10,78	2,29	-2,19	-0,64	0,1	-1,91	-0,22	-0,97
y	12	317	2291	2791	3,29	13,81	15,15	17,87	270	2,83	0,44	0,21	14,03	47,41	10,78	2,29	-2,19	-0,64	0,1	-1,91	-0,22	-0,97
y	12	317	2291	2791	3,29	13,81	15,15	17,87	240	2,53	0,44	0,21	14,03	47,41	10,78	2,29	-2,19	-0,64	0,1	-1,91	-0,22	-0,97
y	12	317	2291	2791	3,29	13,81	15,15	17,87	210	2,22	0,44	0,21	14,03	47,41	10,78	2,29	-2,19	-0,64	0,1	-1,91	-0,22	-0,97
y	12	317	2291	2791	3,29	13,81	15,15	17,87	110	1,18	0,44	0,21	14,03	47,41	10,78	2,29	-2,19	-0,64	0,1	-1,91	-0,22	-0,97
y	16	280	1855	2458	2,93	12,40	14,28	17,62	450	4,52	0,51	0,31	15,74	68,80	11,59	2,44	-2,54	-0,64	-0,44	-2,39	0,38	0,38
y	16	280	1855	2458	2,93	12,40	14,28	17,62	360	3,70	0,51	0,31	15,74	68,80	11,59	2,44	-2,54	-0,64	-0,44	-2,39	0,38	0,38
y	16	280	1855	2458	2,93	12,40	14,28	17,62	300	3,13	0,51	0,31	15,74	68,80	11,59	2,44	-2,54	-0,64	-0,44	-2,39	0,38	0,38
y	16	280	1855	2458	2,93	12,40	14,28	17,62	270	2,83	0,51	0,31	15,74	68,80	11,59	2,44	-2,54	-0,64	-0,44	-2,39	0,38	0,38
y	16	280	1855	2458	2,93	12,40	14,28	17,62	240	2,53	0,51	0,31	15,74	68,80	11,59	2,44	-2,54	-0,64	-0,44	-2,39	0,38	0,38
y	16	280	1855	2458	2,93	12,40	14,28	17,62	210	2,22	0,51	0,31	15,74	68,80	11,59	2,44	-2,54	-0,64	-0,44	-2,39	0,38	0,38
y	16	280	1855	2458	2,93	12,40	14,28	17,62	110	1,18	0,51	0,31	15,74	68,80	11,59	2,44	-2,54	-0,64	-0,44	-2,39	0,38	0,38
y	21	228	1617	2103	2,41	11,50	13,23	16,51	450	4,52	0,46	0,17	17,84	91,93	13,50	2,16	-2,42	-0,93	-0,33	-1,85	0,39	0,17
y	21	228	1617	2103	2,41	11,50	13,23	16,51	360	3,70	0,46	0,17	17,84	91,93	13,50	2,16	-2,42	-0,93	-0,33	-1,85	0,39	0,17
y	21	228	1617	2103	2,41	11,50	13,23	16,51	300	3,13	0,46	0,17	17,84	91,93	13,50	2,16	-2,42	-0,93	-0,33	-1,85	0,39	0,17
y	21	228	1617	2103	2,41	11,50	13,23	16,51	270	2,83	0,46	0,17	17,84	91,93	13,50	2,16	-2,42	-0,93	-0,33	-1,85	0,39	0,17
y	21	228	1617	2103	2,41	11,50	13,23	16,51	240	2,53	0,46	0,17	17,84	91,93	13,50	2,16	-2,42	-0,93	-0,33	-1,85	0,39	0,17
y	21	228	1617	2103	2,41	11,50	13,23	16,51	210	2,22	0,46	0,17	17,84	91,93	13,50	2,16	-2,42	-0,93	-0,33	-1,85	0,39	0,17
y	21	228	1617	2103	2,41	11,50	13,23	16,51	110	1,18	0,46	0,17	17,84	91,93	13,50	2,16	-2,42	-0,93	-0,33	-1,85	0,39	0,17
ø	0	808	3597	5355	7,30	16,88	19,64	21,45	450	4,52	0,44	1,28	8,11	11,27	5,05	1,71	-2,22	0,99	-0,06	-3,1	0,4	-0,49
ø	0	808	3597	5355	7,30	16,88	19,64	21,45	360	3,70	0,44	1,28	8,11	11,27	5,05	1,71	-2,22	0,99	-0,06	-3,1	0,4	-0,49
ø	0	808	3597	5355	7,30	16,88	19,64	21,45	300	3,13	0,44	1,28	8,11	11,27	5,05	1,71	-2,22	0,99	-0,06	-3,1	0,4	-0,49

Voyelle	Age	F1	F2	F3	Z1	Z2	Z3	Z4	F0	Z0	Ac	Al	Lgth	Vol	Xc	LipP	Body	LipH	Jaw	Apex	Drsm	Lx
ø	0	808	3597	5355	7,30	16,88	19,64	21,45	270	2,83	0,44	1,28	8,11	11,27	5,05	1,71	-2,22	0,99	-0,06	-3,1	0,4	-0,49
ø	0	808	3597	5355	7,30	16,88	19,64	21,45	240	2,53	0,44	1,28	8,11	11,27	5,05	1,71	-2,22	0,99	-0,06	-3,1	0,4	-0,49
ø	0	808	3597	5355	7,30	16,88	19,64	21,45	210	2,22	0,44	1,28	8,11	11,27	5,05	1,71	-2,22	0,99	-0,06	-3,1	0,4	-0,49
ø	0	808	3597	5355	7,30	16,88	19,64	21,45	110	1,18	0,44	1,28	8,11	11,27	5,05	1,71	-2,22	0,99	-0,06	-3,1	0,4	-0,49
ø	2	687	2658	3988	6,45	14,81	17,60	19,89	450	4,52	0,94	1,71	10,55	24,62	6,70	1,34	-1,79	0,76	-1,09	-2,86	0,84	-0,89
ø	2	687	2658	3988	6,45	14,81	17,60	19,89	360	3,70	0,94	1,71	10,55	24,62	6,70	1,34	-1,79	0,76	-1,09	-2,86	0,84	-0,89
ø	2	687	2658	3988	6,45	14,81	17,60	19,89	300	3,13	0,94	1,71	10,55	24,62	6,70	1,34	-1,79	0,76	-1,09	-2,86	0,84	-0,89
ø	2	687	2658	3988	6,45	14,81	17,60	19,89	270	2,83	0,94	1,71	10,55	24,62	6,70	1,34	-1,79	0,76	-1,09	-2,86	0,84	-0,89
ø	2	687	2658	3988	6,45	14,81	17,60	19,89	240	2,53	0,94	1,71	10,55	24,62	6,70	1,34	-1,79	0,76	-1,09	-2,86	0,84	-0,89
ø	2	687	2658	3988	6,45	14,81	17,60	19,89	210	2,22	0,94	1,71	10,55	24,62	6,70	1,34	-1,79	0,76	-1,09	-2,86	0,84	-0,89
ø	2	687	2658	3988	6,45	14,81	17,60	19,89	110	1,18	0,94	1,71	10,55	24,62	6,70	1,34	-1,79	0,76	-1,09	-2,86	0,84	-0,89
ø	4	626	2554	3656	5,99	14,54	17,00	19,47	450	4,52	1,02	1,85	11,35	29,89	7,37	1,34	-1,79	0,76	-1,09	-2,86	0,84	-0,89
ø	4	626	2554	3656	5,99	14,54	17,00	19,47	360	3,70	1,02	1,85	11,35	29,89	7,37	1,34	-1,79	0,76	-1,09	-2,86	0,84	-0,89
ø	4	626	2554	3656	5,99	14,54	17,00	19,47	300	3,13	1,02	1,85	11,35	29,89	7,37	1,34	-1,79	0,76	-1,09	-2,86	0,84	-0,89
ø	4	626	2554	3656	5,99	14,54	17,00	19,47	270	2,83	1,02	1,85	11,35	29,89	7,37	1,34	-1,79	0,76	-1,09	-2,86	0,84	-0,89
ø	4	626	2554	3656	5,99	14,54	17,00	19,47	240	2,53	1,02	1,85	11,35	29,89	7,37	1,34	-1,79	0,76	-1,09	-2,86	0,84	-0,89
ø	4	626	2554	3656	5,99	14,54	17,00	19,47	210	2,22	1,02	1,85	11,35	29,89	7,37	1,34	-1,79	0,76	-1,09	-2,86	0,84	-0,89
ø	4	626	2554	3656	5,99	14,54	17,00	19,47	110	1,18	1,02	1,85	11,35	29,89	7,37	1,34	-1,79	0,76	-1,09	-2,86	0,84	-0,89
ø	8	538	2244	3153	5,28	13,67	15,98	18,63	450	4,52	0,98	2,24	13,01	40,06	8,48	1,41	-1,75	0,78	-1,51	-2,81	1,51	-1,41
ø	8	538	2244	3153	5,28	13,67	15,98	18,63	360	3,70	0,98	2,24	13,01	40,06	8,48	1,41	-1,75	0,78	-1,51	-2,81	1,51	-1,41
ø	8	538	2244	3153	5,28	13,67	15,98	18,63	300	3,13	0,98	2,24	13,01	40,06	8,48	1,41	-1,75	0,78	-1,51	-2,81	1,51	-1,41
ø	8	538	2244	3153	5,28	13,67	15,98	18,63	270	2,83	0,98	2,24	13,01	40,06	8,48	1,41	-1,75	0,78	-1,51	-2,81	1,51	-1,41
ø	8	538	2244	3153	5,28	13,67	15,98	18,63	240	2,53	0,98	2,24	13,01	40,06	8,48	1,41	-1,75	0,78	-1,51	-2,81	1,51	-1,41
ø	8	538	2244	3153	5,28	13,67	15,98	18,63	210	2,22	0,98	2,24	13,01	40,06	8,48	1,41	-1,75	0,78	-1,51	-2,81	1,51	-1,41
ø	8	538	2244	3153	5,28	13,67	15,98	18,63	110	1,18	0,98	2,24	13,01	40,06	8,48	1,41	-1,75	0,78	-1,51	-2,81	1,51	-1,41
ø	12	466	2087	2725	4,67	13,18	14,98	17,63	450	4,52	1,12	2,58	14,73	55,11	9,91	1,41	-1,75	0,78	-1,51	-2,81	1,51	-1,41
ø	12	466	2087	2725	4,67	13,18	14,98	17,63	360	3,70	1,12	2,58	14,73	55,11	9,91	1,41	-1,75	0,78	-1,51	-2,81	1,51	-1,41
ø	12	466	2087	2725	4,67	13,18	14,98	17,63	300	3,13	1,12	2,58	14,73	55,11	9,91	1,41	-1,75	0,78	-1,51	-2,81	1,51	-1,41
ø	12	466	2087	2725	4,67	13,18	14,98	17,63	270	2,83	1,12	2,58	14,73	55,11	9,91	1,41	-1,75	0,78	-1,51	-2,81	1,51	-1,41
ø	12	466	2087	2725	4,67	13,18	14,98	17,63	240	2,53	1,12	2,58	14,73	55,11	9,91	1,41	-1,75	0,78	-1,51	-2,81	1,51	-1,41
ø	12	466	2087	2725	4,67	13,18	14,98	17,63	210	2,22	1,12	2,58	14,73	55,11	9,91	1,41	-1,75	0,78	-1,51	-2,81	1,51	-1,41

Voyelle	Age	F1	F2	F3	Z1	Z2	Z3	Z4	F0	Z0	Ac	Al	Lgth	Vol	Xc	LipP	Body	LipH	Jaw	Apex	Drsm	Lx
ø	12	466	2087	2725	4,67	13,18	14,98	17,63	110	1,18	1,12	2,58	14,73	55,11	9,91	1,41	-1,75	0,78	-1,51	-2,81	1,51	-1,41
ø	16	425	1815	2424	4,30	12,25	14,19	16,72	450	4,52	1,33	0,72	16,13	47,90	12,10	0,88	-0,08	-0,37	-0,12	0,78	0,65	-0,96
ø	16	425	1815	2424	4,30	12,25	14,19	16,72	360	3,70	1,33	0,72	16,13	47,90	12,10	0,88	-0,08	-0,37	-0,12	0,78	0,65	-0,96
ø	16	425	1815	2424	4,30	12,25	14,19	16,72	300	3,13	1,33	0,72	16,13	47,90	12,10	0,88	-0,08	-0,37	-0,12	0,78	0,65	-0,96
ø	16	425	1815	2424	4,30	12,25	14,19	16,72	270	2,83	1,33	0,72	16,13	47,90	12,10	0,88	-0,08	-0,37	-0,12	0,78	0,65	-0,96
ø	16	425	1815	2424	4,30	12,25	14,19	16,72	240	2,53	1,33	0,72	16,13	47,90	12,10	0,88	-0,08	-0,37	-0,12	0,78	0,65	-0,96
ø	16	425	1815	2424	4,30	12,25	14,19	16,72	210	2,22	1,33	0,72	16,13	47,90	12,10	0,88	-0,08	-0,37	-0,12	0,78	0,65	-0,96
ø	16	425	1815	2424	4,30	12,25	14,19	16,72	110	1,18	1,33	0,72	16,13	47,90	12,10	0,88	-0,08	-0,37	-0,12	0,78	0,65	-0,96
ø	21	369	1575	2059	3,79	11,33	13,09	15,65	450	4,52	1,68	2,89	19,09	102,76	13,01	1,37	-1,39	0,51	-1,57	-2,94	1,78	-1,17
ø	21	369	1575	2059	3,79	11,33	13,09	15,65	360	3,70	1,68	2,89	19,09	102,76	13,01	1,37	-1,39	0,51	-1,57	-2,94	1,78	-1,17
ø	21	369	1575	2059	3,79	11,33	13,09	15,65	300	3,13	1,68	2,89	19,09	102,76	13,01	1,37	-1,39	0,51	-1,57	-2,94	1,78	-1,17
ø	21	369	1575	2059	3,79	11,33	13,09	15,65	270	2,83	1,68	2,89	19,09	102,76	13,01	1,37	-1,39	0,51	-1,57	-2,94	1,78	-1,17
ø	21	369	1575	2059	3,79	11,33	13,09	15,65	240	2,53	1,68	2,89	19,09	102,76	13,01	1,37	-1,39	0,51	-1,57	-2,94	1,78	-1,17
ø	21	369	1575	2059	3,79	11,33	13,09	15,65	210	2,22	1,68	2,89	19,09	102,76	13,01	1,37	-1,39	0,51	-1,57	-2,94	1,78	-1,17
ø	21	369	1575	2059	3,79	11,33	13,09	15,65	110	1,18	1,68	2,89	19,09	102,76	13,01	1,37	-1,39	0,51	-1,57	-2,94	1,78	-1,17
æ	0	1098	3301	5344	9,07	16,29	19,63	21,33	450	4,52	0,52	2,67	7,92	14,04	4,41	1,45	-1,7	1,75	-1,56	-2,46	0,63	0,43
æ	0	1098	3301	5344	9,07	16,29	19,63	21,33	360	3,70	0,52	2,67	7,92	14,04	4,41	1,45	-1,7	1,75	-1,56	-2,46	0,63	0,43
æ	0	1098	3301	5344	9,07	16,29	19,63	21,33	300	3,13	0,52	2,67	7,92	14,04	4,41	1,45	-1,7	1,75	-1,56	-2,46	0,63	0,43
æ	0	1098	3301	5344	9,07	16,29	19,63	21,33	270	2,83	0,52	2,67	7,92	14,04	4,41	1,45	-1,7	1,75	-1,56	-2,46	0,63	0,43
æ	0	1098	3301	5344	9,07	16,29	19,63	21,33	240	2,53	0,52	2,67	7,92	14,04	4,41	1,45	-1,7	1,75	-1,56	-2,46	0,63	0,43
æ	0	1098	3301	5344	9,07	16,29	19,63	21,33	210	2,22	0,52	2,67	7,92	14,04	4,41	1,45	-1,7	1,75	-1,56	-2,46	0,63	0,43
æ	0	1098	3301	5344	9,07	16,29	19,63	21,33	110	1,18	0,52	2,67	7,92	14,04	4,41	1,45	-1,7	1,75	-1,56	-2,46	0,63	0,43
æ	2	909	2406	4019	7,96	14,14	17,65	19,82	450	4,52	0,84	2,75	10,31	27,01	5,68	1,11	-0,8	1,13	-2,45	-1,92	0,97	-0,02
æ	2	909	2406	4019	7,96	14,14	17,65	19,82	360	3,70	0,84	2,75	10,31	27,01	5,68	1,11	-0,8	1,13	-2,45	-1,92	0,97	-0,02
æ	2	909	2406	4019	7,96	14,14	17,65	19,82	300	3,13	0,84	2,75	10,31	27,01	5,68	1,11	-0,8	1,13	-2,45	-1,92	0,97	-0,02
æ	2	909	2406	4019	7,96	14,14	17,65	19,82	270	2,83	0,84	2,75	10,31	27,01	5,68	1,11	-0,8	1,13	-2,45	-1,92	0,97	-0,02
æ	2	909	2406	4019	7,96	14,14	17,65	19,82	240	2,53	0,84	2,75	10,31	27,01	5,68	1,11	-0,8	1,13	-2,45	-1,92	0,97	-0,02
æ	2	909	2406	4019	7,96	14,14	17,65	19,82	210	2,22	0,84	2,75	10,31	27,01	5,68	1,11	-0,8	1,13	-2,45	-1,92	0,97	-0,02
æ	2	909	2406	4019	7,96	14,14	17,65	19,82	110	1,18	0,84	2,75	10,31	27,01	5,68	1,11	-0,8	1,13	-2,45	-1,92	0,97	-0,02
æ	4	829	2295	3696	7,44	13,82	17,07	19,41	450	4,52	0,98	2,97	11,11	31,91	6,29	1,11	-0,8	1,13	-2,45	-1,92	0,97	-0,02
æ	4	829	2295	3696	7,44	13,82	17,07	19,41	360	3,70	0,98	2,97	11,11	31,91	6,29	1,11	-0,8	1,13	-2,45	-1,92	0,97	-0,02

Voyelle	Age	F1	F2	F3	Z1	Z2	Z3	Z4	F0	Z0	Ac	Al	Lgth	Vol	Xc	LipP	Body	LipH	Jaw	Apex	Drsm	Lx
œ	4	829	2295	3696	7,44	13,82	17,07	19,41	300	3,13	0,98	2,97	11,11	31,91	6,29	1,11	-0,8	1,13	-2,45	-1,92	0,97	-0,02
œ	4	829	2295	3696	7,44	13,82	17,07	19,41	270	2,83	0,98	2,97	11,11	31,91	6,29	1,11	-0,8	1,13	-2,45	-1,92	0,97	-0,02
œ	4	829	2295	3696	7,44	13,82	17,07	19,41	240	2,53	0,98	2,97	11,11	31,91	6,29	1,11	-0,8	1,13	-2,45	-1,92	0,97	-0,02
œ	4	829	2295	3696	7,44	13,82	17,07	19,41	210	2,22	0,98	2,97	11,11	31,91	6,29	1,11	-0,8	1,13	-2,45	-1,92	0,97	-0,02
œ	4	829	2295	3696	7,44	13,82	17,07	19,41	110	1,18	0,98	2,97	11,11	31,91	6,29	1,11	-0,8	1,13	-2,45	-1,92	0,97	-0,02
œ	8	719	2070	3244	6,68	13,13	16,17	18,74	450	4,52	1,19	3,37	12,54	39,65	7,28	1,07	-0,6	1,12	-2,53	-1,63	1,44	-0,16
œ	8	719	2070	3244	6,68	13,13	16,17	18,74	360	3,70	1,19	3,37	12,54	39,65	7,28	1,07	-0,6	1,12	-2,53	-1,63	1,44	-0,16
œ	8	719	2070	3244	6,68	13,13	16,17	18,74	300	3,13	1,19	3,37	12,54	39,65	7,28	1,07	-0,6	1,12	-2,53	-1,63	1,44	-0,16
œ	8	719	2070	3244	6,68	13,13	16,17	18,74	270	2,83	1,19	3,37	12,54	39,65	7,28	1,07	-0,6	1,12	-2,53	-1,63	1,44	-0,16
œ	8	719	2070	3244	6,68	13,13	16,17	18,74	240	2,53	1,19	3,37	12,54	39,65	7,28	1,07	-0,6	1,12	-2,53	-1,63	1,44	-0,16
œ	8	719	2070	3244	6,68	13,13	16,17	18,74	210	2,22	1,19	3,37	12,54	39,65	7,28	1,07	-0,6	1,12	-2,53	-1,63	1,44	-0,16
œ	8	719	2070	3244	6,68	13,13	16,17	18,74	110	1,18	1,19	3,37	12,54	39,65	7,28	1,07	-0,6	1,12	-2,53	-1,63	1,44	-0,16
œ	12	622	1907	2822	5,95	12,58	15,22	17,97	450	4,52	1,49	3,89	14,21	52,76	8,56	1,07	-0,6	1,12	-2,53	-1,63	1,44	-0,16
œ	12	622	1907	2822	5,95	12,58	15,22	17,97	360	3,70	1,49	3,89	14,21	52,76	8,56	1,07	-0,6	1,12	-2,53	-1,63	1,44	-0,16
œ	12	622	1907	2822	5,95	12,58	15,22	17,97	300	3,13	1,49	3,89	14,21	52,76	8,56	1,07	-0,6	1,12	-2,53	-1,63	1,44	-0,16
œ	12	622	1907	2822	5,95	12,58	15,22	17,97	270	2,83	1,49	3,89	14,21	52,76	8,56	1,07	-0,6	1,12	-2,53	-1,63	1,44	-0,16
œ	12	622	1907	2822	5,95	12,58	15,22	17,97	240	2,53	1,49	3,89	14,21	52,76	8,56	1,07	-0,6	1,12	-2,53	-1,63	1,44	-0,16
œ	12	622	1907	2822	5,95	12,58	15,22	17,97	210	2,22	1,49	3,89	14,21	52,76	8,56	1,07	-0,6	1,12	-2,53	-1,63	1,44	-0,16
œ	12	622	1907	2822	5,95	12,58	15,22	17,97	110	1,18	1,49	3,89	14,21	52,76	8,56	1,07	-0,6	1,12	-2,53	-1,63	1,44	-0,16
œ	16	566	1601	2582	5,51	11,43	14,62	17,84	450	4,52	1,81	1,67	15,30	51,46	9,00	0,42	1,55	0,47	1,08	-0,58	0,12	0,93
œ	16	566	1601	2582	5,51	11,43	14,62	17,84	360	3,70	1,81	1,67	15,30	51,46	9,00	0,42	1,55	0,47	1,08	-0,58	0,12	0,93
œ	16	566	1601	2582	5,51	11,43	14,62	17,84	300	3,13	1,81	1,67	15,30	51,46	9,00	0,42	1,55	0,47	1,08	-0,58	0,12	0,93
œ	16	566	1601	2582	5,51	11,43	14,62	17,84	270	2,83	1,81	1,67	15,30	51,46	9,00	0,42	1,55	0,47	1,08	-0,58	0,12	0,93
œ	16	566	1601	2582	5,51	11,43	14,62	17,84	240	2,53	1,81	1,67	15,30	51,46	9,00	0,42	1,55	0,47	1,08	-0,58	0,12	0,93
œ	16	566	1601	2582	5,51	11,43	14,62	17,84	210	2,22	1,81	1,67	15,30	51,46	9,00	0,42	1,55	0,47	1,08	-0,58	0,12	0,93
œ	16	566	1601	2582	5,51	11,43	14,62	17,84	110	1,18	1,81	1,67	15,30	51,46	9,00	0,42	1,55	0,47	1,08	-0,58	0,12	0,93
œ	21	487	1410	2150	4,85	10,62	13,38	16,45	450	4,52	1,94	4,46	18,34	91,89	11,15	1,05	0,02	0,84	-2,54	-1,69	1,73	0,49
œ	21	487	1410	2150	4,85	10,62	13,38	16,45	360	3,70	1,94	4,46	18,34	91,89	11,15	1,05	0,02	0,84	-2,54	-1,69	1,73	0,49
œ	21	487	1410	2150	4,85	10,62	13,38	16,45	300	3,13	1,94	4,46	18,34	91,89	11,15	1,05	0,02	0,84	-2,54	-1,69	1,73	0,49
œ	21	487	1410	2150	4,85	10,62	13,38	16,45	270	2,83	1,94	4,46	18,34	91,89	11,15	1,05	0,02	0,84	-2,54	-1,69	1,73	0,49
œ	21	487	1410	2150	4,85	10,62	13,38	16,45	240	2,53	1,94	4,46	18,34	91,89	11,15	1,05	0,02	0,84	-2,54	-1,69	1,73	0,49

Voyelle	Age	F1	F2	F3	Z1	Z2	Z3	Z4	F0	Z0	Ac	Al	Lgth	Vol	Xc	LipP	Body	LipH	Jaw	Apex	Drsm	Lx
œ	21	487	1410	2150	4,85	10,62	13,38	16,45	210	2,22	1,94	4,46	18,34	91,89	11,15	1,05	0,02	0,84	-2,54	-1,69	1,73	0,49
œ	21	487	1410	2150	4,85	10,62	13,38	16,45	110	1,18	1,94	4,46	18,34	91,89	11,15	1,05	0,02	0,84	-2,54	-1,69	1,73	0,49
u	0	564	1595	5426	5,49	11,41	19,73	21,05	450	4,52	0,23	0,05	8,82	8,64	4,69	2,64	-0,76	-0,69	0,75	-1,82	2	-1,76
u	0	564	1595	5426	5,49	11,41	19,73	21,05	360	3,70	0,23	0,05	8,82	8,64	4,69	2,64	-0,76	-0,69	0,75	-1,82	2	-1,76
u	0	564	1595	5426	5,49	11,41	19,73	21,05	300	3,13	0,23	0,05	8,82	8,64	4,69	2,64	-0,76	-0,69	0,75	-1,82	2	-1,76
u	0	564	1595	5426	5,49	11,41	19,73	21,05	270	2,83	0,23	0,05	8,82	8,64	4,69	2,64	-0,76	-0,69	0,75	-1,82	2	-1,76
u	0	564	1595	5426	5,49	11,41	19,73	21,05	240	2,53	0,23	0,05	8,82	8,64	4,69	2,64	-0,76	-0,69	0,75	-1,82	2	-1,76
u	0	564	1595	5426	5,49	11,41	19,73	21,05	210	2,22	0,23	0,05	8,82	8,64	4,69	2,64	-0,76	-0,69	0,75	-1,82	2	-1,76
u	0	564	1595	5426	5,49	11,41	19,73	21,05	110	1,18	0,23	0,05	8,82	8,64	4,69	2,64	-0,76	-0,69	0,75	-1,82	2	-1,76
u	2	445	1220	3952	4,48	9,71	17,53	19,40	450	4,52	0,40	0,09	11,55	24,12	5,54	2,34	0,52	-0,94	-0,47	-2,85	2,45	-1,19
u	2	445	1220	3952	4,48	9,71	17,53	19,40	360	3,70	0,40	0,09	11,55	24,12	5,54	2,34	0,52	-0,94	-0,47	-2,85	2,45	-1,19
u	2	445	1220	3952	4,48	9,71	17,53	19,40	300	3,13	0,40	0,09	11,55	24,12	5,54	2,34	0,52	-0,94	-0,47	-2,85	2,45	-1,19
u	2	445	1220	3952	4,48	9,71	17,53	19,40	270	2,83	0,40	0,09	11,55	24,12	5,54	2,34	0,52	-0,94	-0,47	-2,85	2,45	-1,19
u	2	445	1220	3952	4,48	9,71	17,53	19,40	240	2,53	0,40	0,09	11,55	24,12	5,54	2,34	0,52	-0,94	-0,47	-2,85	2,45	-1,19
u	2	445	1220	3952	4,48	9,71	17,53	19,40	210	2,22	0,40	0,09	11,55	24,12	5,54	2,34	0,52	-0,94	-0,47	-2,85	2,45	-1,19
u	2	445	1220	3952	4,48	9,71	17,53	19,40	110	1,18	0,40	0,09	11,55	24,12	5,54	2,34	0,52	-0,94	-0,47	-2,85	2,45	-1,19
u	4	417	1147	3603	4,23	9,33	16,90	19,04	450	4,52	0,45	0,09	12,43	28,66	6,37	2,34	0,52	-0,94	-0,47	-2,85	2,45	-1,19
u	4	417	1147	3603	4,23	9,33	16,90	19,04	360	3,70	0,45	0,09	12,43	28,66	6,37	2,34	0,52	-0,94	-0,47	-2,85	2,45	-1,19
u	4	417	1147	3603	4,23	9,33	16,90	19,04	300	3,13	0,45	0,09	12,43	28,66	6,37	2,34	0,52	-0,94	-0,47	-2,85	2,45	-1,19
u	4	417	1147	3603	4,23	9,33	16,90	19,04	270	2,83	0,45	0,09	12,43	28,66	6,37	2,34	0,52	-0,94	-0,47	-2,85	2,45	-1,19
u	4	417	1147	3603	4,23	9,33	16,90	19,04	240	2,53	0,45	0,09	12,43	28,66	6,37	2,34	0,52	-0,94	-0,47	-2,85	2,45	-1,19
u	4	417	1147	3603	4,23	9,33	16,90	19,04	210	2,22	0,45	0,09	12,43	28,66	6,37	2,34	0,52	-0,94	-0,47	-2,85	2,45	-1,19
u	4	417	1147	3603	4,23	9,33	16,90	19,04	110	1,18	0,45	0,09	12,43	28,66	6,37	2,34	0,52	-0,94	-0,47	-2,85	2,45	-1,19
u	8	347	1050	3129	3,58	8,80	15,93	18,59	450	4,52	0,47	0,06	13,68	32,83	7,40	2,35	0,33	-1,21	-1,05	-1,58	2,43	-1,09
u	8	347	1050	3129	3,58	8,80	15,93	18,59	360	3,70	0,47	0,06	13,68	32,83	7,40	2,35	0,33	-1,21	-1,05	-1,58	2,43	-1,09
u	8	347	1050	3129	3,58	8,80	15,93	18,59	300	3,13	0,47	0,06	13,68	32,83	7,40	2,35	0,33	-1,21	-1,05	-1,58	2,43	-1,09
u	8	347	1050	3129	3,58	8,80	15,93	18,59	270	2,83	0,47	0,06	13,68	32,83	7,40	2,35	0,33	-1,21	-1,05	-1,58	2,43	-1,09
u	8	347	1050	3129	3,58	8,80	15,93	18,59	240	2,53	0,47	0,06	13,68	32,83	7,40	2,35	0,33	-1,21	-1,05	-1,58	2,43	-1,09
u	8	347	1050	3129	3,58	8,80	15,93	18,59	210	2,22	0,47	0,06	13,68	32,83	7,40	2,35	0,33	-1,21	-1,05	-1,58	2,43	-1,09
u	8	347	1050	3129	3,58	8,80	15,93	18,59	110	1,18	0,47	0,06	13,68	32,83	7,40	2,35	0,33	-1,21	-1,05	-1,58	2,43	-1,09
u	12	314	956	2682	3,26	8,25	14,87	17,83	450	4,52	0,53	0,06	15,48	44,28	8,77	2,35	0,33	-1,21	-1,05	-1,58	2,43	-1,09

Voyelle	Age	F1	F2	F3	Z1	Z2	Z3	Z4	F0	Z0	Ac	Al	Lgth	Vol	Xc	LipP	Body	LipH	Jaw	Apex	Drsm	Lx
u	12	314	956	2682	3,26	8,25	14,87	17,83	360	3,70	0,53	0,06	15,48	44,28	8,77	2,35	0,33	-1,21	-1,05	-1,58	2,43	-1,09
u	12	314	956	2682	3,26	8,25	14,87	17,83	300	3,13	0,53	0,06	15,48	44,28	8,77	2,35	0,33	-1,21	-1,05	-1,58	2,43	-1,09
u	12	314	956	2682	3,26	8,25	14,87	17,83	270	2,83	0,53	0,06	15,48	44,28	8,77	2,35	0,33	-1,21	-1,05	-1,58	2,43	-1,09
u	12	314	956	2682	3,26	8,25	14,87	17,83	240	2,53	0,53	0,06	15,48	44,28	8,77	2,35	0,33	-1,21	-1,05	-1,58	2,43	-1,09
u	12	314	956	2682	3,26	8,25	14,87	17,83	210	2,22	0,53	0,06	15,48	44,28	8,77	2,35	0,33	-1,21	-1,05	-1,58	2,43	-1,09
u	12	314	956	2682	3,26	8,25	14,87	17,83	110	1,18	0,53	0,06	15,48	44,28	8,77	2,35	0,33	-1,21	-1,05	-1,58	2,43	-1,09
u	16	271	842	2284	2,84	7,53	13,79	16,97	450	4,52	0,49	0,04	17,39	56,54	9,90	1,92	1,42	-1,16	-0,02	-1,45	2,01	-1,05
u	16	271	842	2284	2,84	7,53	13,79	16,97	360	3,70	0,49	0,04	17,39	56,54	9,90	1,92	1,42	-1,16	-0,02	-1,45	2,01	-1,05
u	16	271	842	2284	2,84	7,53	13,79	16,97	300	3,13	0,49	0,04	17,39	56,54	9,90	1,92	1,42	-1,16	-0,02	-1,45	2,01	-1,05
u	16	271	842	2284	2,84	7,53	13,79	16,97	270	2,83	0,49	0,04	17,39	56,54	9,90	1,92	1,42	-1,16	-0,02	-1,45	2,01	-1,05
u	16	271	842	2284	2,84	7,53	13,79	16,97	240	2,53	0,49	0,04	17,39	56,54	9,90	1,92	1,42	-1,16	-0,02	-1,45	2,01	-1,05
u	16	271	842	2284	2,84	7,53	13,79	16,97	210	2,22	0,49	0,04	17,39	56,54	9,90	1,92	1,42	-1,16	-0,02	-1,45	2,01	-1,05
u	16	271	842	2284	2,84	7,53	13,79	16,97	110	1,18	0,49	0,04	17,39	56,54	9,90	1,92	1,42	-1,16	-0,02	-1,45	2,01	-1,05
u	21	236	649	2001	2,49	6,16	12,90	16,03	450	4,52	0,30	0,06	20,04	78,81	10,17	2,7	0,69	-0,97	0,18	-1,81	2,85	-1,09
u	21	236	649	2001	2,49	6,16	12,90	16,03	360	3,70	0,30	0,06	20,04	78,81	10,17	2,7	0,69	-0,97	0,18	-1,81	2,85	-1,09
u	21	236	649	2001	2,49	6,16	12,90	16,03	300	3,13	0,30	0,06	20,04	78,81	10,17	2,7	0,69	-0,97	0,18	-1,81	2,85	-1,09
u	21	236	649	2001	2,49	6,16	12,90	16,03	270	2,83	0,30	0,06	20,04	78,81	10,17	2,7	0,69	-0,97	0,18	-1,81	2,85	-1,09
u	21	236	649	2001	2,49	6,16	12,90	16,03	240	2,53	0,30	0,06	20,04	78,81	10,17	2,7	0,69	-0,97	0,18	-1,81	2,85	-1,09
u	21	236	649	2001	2,49	6,16	12,90	16,03	210	2,22	0,30	0,06	20,04	78,81	10,17	2,7	0,69	-0,97	0,18	-1,81	2,85	-1,09
u	21	236	649	2001	2,49	6,16	12,90	16,03	110	1,18	0,30	0,06	20,04	78,81	10,17	2,7	0,69	-0,97	0,18	-1,81	2,85	-1,09
ɔ	0	719	1832	5369	6,68	12,32	19,66	20,76	450	4,52	0,17	0,12	8,40	12,37	3,02	2,03	2,32	-0,78	-0,4	0,05	1,85	1,16
ɔ	0	719	1832	5369	6,68	12,32	19,66	20,76	360	3,70	0,17	0,12	8,40	12,37	3,02	2,03	2,32	-0,78	-0,4	0,05	1,85	1,16
ɔ	0	719	1832	5369	6,68	12,32	19,66	20,76	300	3,13	0,17	0,12	8,40	12,37	3,02	2,03	2,32	-0,78	-0,4	0,05	1,85	1,16
ɔ	0	719	1832	5369	6,68	12,32	19,66	20,76	270	2,83	0,17	0,12	8,40	12,37	3,02	2,03	2,32	-0,78	-0,4	0,05	1,85	1,16
ɔ	0	719	1832	5369	6,68	12,32	19,66	20,76	240	2,53	0,17	0,12	8,40	12,37	3,02	2,03	2,32	-0,78	-0,4	0,05	1,85	1,16
ɔ	0	719	1832	5369	6,68	12,32	19,66	20,76	210	2,22	0,17	0,12	8,40	12,37	3,02	2,03	2,32	-0,78	-0,4	0,05	1,85	1,16
ɔ	0	719	1832	5369	6,68	12,32	19,66	20,76	110	1,18	0,17	0,12	8,40	12,37	3,02	2,03	2,32	-0,78	-0,4	0,05	1,85	1,16
ɔ	2	598	1377	3894	5,77	10,47	17,43	19,63	450	4,52	0,27	0,15	10,73	19,82	4,42	2,02	2,34	-0,79	-0,44	0,01	1,73	1,21
ɔ	2	598	1377	3894	5,77	10,47	17,43	19,63	360	3,70	0,27	0,15	10,73	19,82	4,42	2,02	2,34	-0,79	-0,44	0,01	1,73	1,21
ɔ	2	598	1377	3894	5,77	10,47	17,43	19,63	300	3,13	0,27	0,15	10,73	19,82	4,42	2,02	2,34	-0,79	-0,44	0,01	1,73	1,21
ɔ	2	598	1377	3894	5,77	10,47	17,43	19,63	270	2,83	0,27	0,15	10,73	19,82	4,42	2,02	2,34	-0,79	-0,44	0,01	1,73	1,21

Voyelle	Age	F1	F2	F3	Z1	Z2	Z3	Z4	F0	Z0	Ac	Al	Lgth	Vol	Xc	LipP	Body	LipH	Jaw	Apex	Drsm	Lx
ɔ	2	598	1377	3894	5,77	10,47	17,43	19,63	240	2,53	0,27	0,15	10,73	19,82	4,42	2,02	2,34	-0,79	-0,44	0,01	1,73	1,21
ɔ	2	598	1377	3894	5,77	10,47	17,43	19,63	210	2,22	0,27	0,15	10,73	19,82	4,42	2,02	2,34	-0,79	-0,44	0,01	1,73	1,21
ɔ	2	598	1377	3894	5,77	10,47	17,43	19,63	110	1,18	0,27	0,15	10,73	19,82	4,42	2,02	2,34	-0,79	-0,44	0,01	1,73	1,21
ɔ	4	565	1268	3541	5,50	9,95	16,78	19,30	450	4,52	0,30	0,17	11,56	22,84	4,95	2,02	2,34	-0,79	-0,44	0,01	1,73	1,21
ɔ	4	565	1268	3541	5,50	9,95	16,78	19,30	360	3,70	0,30	0,17	11,56	22,84	4,95	2,02	2,34	-0,79	-0,44	0,01	1,73	1,21
ɔ	4	565	1268	3541	5,50	9,95	16,78	19,30	300	3,13	0,30	0,17	11,56	22,84	4,95	2,02	2,34	-0,79	-0,44	0,01	1,73	1,21
ɔ	4	565	1268	3541	5,50	9,95	16,78	19,30	270	2,83	0,30	0,17	11,56	22,84	4,95	2,02	2,34	-0,79	-0,44	0,01	1,73	1,21
ɔ	4	565	1268	3541	5,50	9,95	16,78	19,30	240	2,53	0,30	0,17	11,56	22,84	4,95	2,02	2,34	-0,79	-0,44	0,01	1,73	1,21
ɔ	4	565	1268	3541	5,50	9,95	16,78	19,30	210	2,22	0,30	0,17	11,56	22,84	4,95	2,02	2,34	-0,79	-0,44	0,01	1,73	1,21
ɔ	4	565	1268	3541	5,50	9,95	16,78	19,30	110	1,18	0,30	0,17	11,56	22,84	4,95	2,02	2,34	-0,79	-0,44	0,01	1,73	1,21
ɔ	8	479	1125	2984	4,78	9,21	15,60	18,86	450	4,52	0,35	0,13	12,95	28,58	5,35	2,04	2,66	-0,93	-0,56	0,17	1,56	1,03
ɔ	8	479	1125	2984	4,78	9,21	15,60	18,86	360	3,70	0,35	0,13	12,95	28,58	5,35	2,04	2,66	-0,93	-0,56	0,17	1,56	1,03
ɔ	8	479	1125	2984	4,78	9,21	15,60	18,86	300	3,13	0,35	0,13	12,95	28,58	5,35	2,04	2,66	-0,93	-0,56	0,17	1,56	1,03
ɔ	8	479	1125	2984	4,78	9,21	15,60	18,86	270	2,83	0,35	0,13	12,95	28,58	5,35	2,04	2,66	-0,93	-0,56	0,17	1,56	1,03
ɔ	8	479	1125	2984	4,78	9,21	15,60	18,86	240	2,53	0,35	0,13	12,95	28,58	5,35	2,04	2,66	-0,93	-0,56	0,17	1,56	1,03
ɔ	8	479	1125	2984	4,78	9,21	15,60	18,86	210	2,22	0,35	0,13	12,95	28,58	5,35	2,04	2,66	-0,93	-0,56	0,17	1,56	1,03
ɔ	8	479	1125	2984	4,78	9,21	15,60	18,86	110	1,18	0,35	0,13	12,95	28,58	5,35	2,04	2,66	-0,93	-0,56	0,17	1,56	1,03
ɔ	12	439	985	2558	4,43	8,42	14,55	18,24	450	4,52	0,41	0,15	14,70	36,44	6,40	2,04	2,66	-0,93	-0,56	0,17	1,56	1,03
ɔ	12	439	985	2558	4,43	8,42	14,55	18,24	360	3,70	0,41	0,15	14,70	36,44	6,40	2,04	2,66	-0,93	-0,56	0,17	1,56	1,03
ɔ	12	439	985	2558	4,43	8,42	14,55	18,24	300	3,13	0,41	0,15	14,70	36,44	6,40	2,04	2,66	-0,93	-0,56	0,17	1,56	1,03
ɔ	12	439	985	2558	4,43	8,42	14,55	18,24	270	2,83	0,41	0,15	14,70	36,44	6,40	2,04	2,66	-0,93	-0,56	0,17	1,56	1,03
ɔ	12	439	985	2558	4,43	8,42	14,55	18,24	240	2,53	0,41	0,15	14,70	36,44	6,40	2,04	2,66	-0,93	-0,56	0,17	1,56	1,03
ɔ	12	439	985	2558	4,43	8,42	14,55	18,24	210	2,22	0,41	0,15	14,70	36,44	6,40	2,04	2,66	-0,93	-0,56	0,17	1,56	1,03
ɔ	12	439	985	2558	4,43	8,42	14,55	18,24	110	1,18	0,41	0,15	14,70	36,44	6,40	2,04	2,66	-0,93	-0,56	0,17	1,56	1,03
ɔ	16	409	822	2232	4,16	7,40	13,63	17,57	450	4,52	0,62	0,32	16,99	59,81	7,05	1,32	2,99	-0,83	-0,62	-1,55	1,44	0,46
ɔ	16	409	822	2232	4,16	7,40	13,63	17,57	360	3,70	0,62	0,32	16,99	59,81	7,05	1,32	2,99	-0,83	-0,62	-1,55	1,44	0,46
ɔ	16	409	822	2232	4,16	7,40	13,63	17,57	300	3,13	0,62	0,32	16,99	59,81	7,05	1,32	2,99	-0,83	-0,62	-1,55	1,44	0,46
ɔ	16	409	822	2232	4,16	7,40	13,63	17,57	270	2,83	0,62	0,32	16,99	59,81	7,05	1,32	2,99	-0,83	-0,62	-1,55	1,44	0,46
ɔ	16	409	822	2232	4,16	7,40	13,63	17,57	240	2,53	0,62	0,32	16,99	59,81	7,05	1,32	2,99	-0,83	-0,62	-1,55	1,44	0,46
ɔ	16	409	822	2232	4,16	7,40	13,63	17,57	210	2,22	0,62	0,32	16,99	59,81	7,05	1,32	2,99	-0,83	-0,62	-1,55	1,44	0,46
ɔ	16	409	822	2232	4,16	7,40	13,63	17,57	110	1,18	0,62	0,32	16,99	59,81	7,05	1,32	2,99	-0,83	-0,62	-1,55	1,44	0,46



Voyelle	Age	F1	F2	F3	Z1	Z2	Z3	Z4	F0	Z0	Ac	Al	Lgth	Vol	Xc	LipP	Body	LipH	Jaw	Apex	Drsm	Lx
ɔ	21	359	725	2023	3,69	6,72	12,97	16,91	450	4,52	0,31	0,31	18,72	64,98	10,17	2,03	2,3	-0,72	-0,2	-0,72	2,25	1,79
ɔ	21	359	725	2023	3,69	6,72	12,97	16,91	360	3,70	0,31	0,31	18,72	64,98	10,17	2,03	2,3	-0,72	-0,2	-0,72	2,25	1,79
ɔ	21	359	725	2023	3,69	6,72	12,97	16,91	300	3,13	0,31	0,31	18,72	64,98	10,17	2,03	2,3	-0,72	-0,2	-0,72	2,25	1,79
ɔ	21	359	725	2023	3,69	6,72	12,97	16,91	270	2,83	0,31	0,31	18,72	64,98	10,17	2,03	2,3	-0,72	-0,2	-0,72	2,25	1,79
ɔ	21	359	725	2023	3,69	6,72	12,97	16,91	240	2,53	0,31	0,31	18,72	64,98	10,17	2,03	2,3	-0,72	-0,2	-0,72	2,25	1,79
ɔ	21	359	725	2023	3,69	6,72	12,97	16,91	210	2,22	0,31	0,31	18,72	64,98	10,17	2,03	2,3	-0,72	-0,2	-0,72	2,25	1,79
ɔ	21	359	725	2023	3,69	6,72	12,97	16,91	110	1,18	0,31	0,31	18,72	64,98	10,17	2,03	2,3	-0,72	-0,2	-0,72	2,25	1,79
o	0	1170	2222	5532	9,45	13,60	19,87	21,07	450	4,52	0,32	0,64	8,00	12,12	2,81	0,39	1,74	0,02	-0,17	-0,35	1,49	1,62
o	0	1170	2222	5532	9,45	13,60	19,87	21,07	360	3,70	0,32	0,64	8,00	12,12	2,81	0,39	1,74	0,02	-0,17	-0,35	1,49	1,62
o	0	1170	2222	5532	9,45	13,60	19,87	21,07	300	3,13	0,32	0,64	8,00	12,12	2,81	0,39	1,74	0,02	-0,17	-0,35	1,49	1,62
o	0	1170	2222	5532	9,45	13,60	19,87	21,07	270	2,83	0,32	0,64	8,00	12,12	2,81	0,39	1,74	0,02	-0,17	-0,35	1,49	1,62
o	0	1170	2222	5532	9,45	13,60	19,87	21,07	240	2,53	0,32	0,64	8,00	12,12	2,81	0,39	1,74	0,02	-0,17	-0,35	1,49	1,62
o	0	1170	2222	5532	9,45	13,60	19,87	21,07	210	2,22	0,32	0,64	8,00	12,12	2,81	0,39	1,74	0,02	-0,17	-0,35	1,49	1,62
o	0	1170	2222	5532	9,45	13,60	19,87	21,07	110	1,18	0,32	0,64	8,00	12,12	2,81	0,39	1,74	0,02	-0,17	-0,35	1,49	1,62
o	2	947	1580	4026	8,19	11,35	17,66	19,57	450	4,52	0,46	1,82	10,41	30,51	3,68	0,34	2,42	0,69	-1,04	-2,49	1,68	2
o	2	947	1580	4026	8,19	11,35	17,66	19,57	360	3,70	0,46	1,82	10,41	30,51	3,68	0,34	2,42	0,69	-1,04	-2,49	1,68	2
o	2	947	1580	4026	8,19	11,35	17,66	19,57	300	3,13	0,46	1,82	10,41	30,51	3,68	0,34	2,42	0,69	-1,04	-2,49	1,68	2
o	2	947	1580	4026	8,19	11,35	17,66	19,57	270	2,83	0,46	1,82	10,41	30,51	3,68	0,34	2,42	0,69	-1,04	-2,49	1,68	2
o	2	947	1580	4026	8,19	11,35	17,66	19,57	240	2,53	0,46	1,82	10,41	30,51	3,68	0,34	2,42	0,69	-1,04	-2,49	1,68	2
o	2	947	1580	4026	8,19	11,35	17,66	19,57	210	2,22	0,46	1,82	10,41	30,51	3,68	0,34	2,42	0,69	-1,04	-2,49	1,68	2
o	2	947	1580	4026	8,19	11,35	17,66	19,57	110	1,18	0,46	1,82	10,41	30,51	3,68	0,34	2,42	0,69	-1,04	-2,49	1,68	2
o	4	873	1477	3680	7,73	10,91	17,04	19,22	450	4,52	0,50	1,97	11,21	34,82	4,15	0,34	2,42	0,69	-1,04	-2,49	1,68	2
o	4	873	1477	3680	7,73	10,91	17,04	19,22	360	3,70	0,50	1,97	11,21	34,82	4,15	0,34	2,42	0,69	-1,04	-2,49	1,68	2
o	4	873	1477	3680	7,73	10,91	17,04	19,22	300	3,13	0,50	1,97	11,21	34,82	4,15	0,34	2,42	0,69	-1,04	-2,49	1,68	2
o	4	873	1477	3680	7,73	10,91	17,04	19,22	270	2,83	0,50	1,97	11,21	34,82	4,15	0,34	2,42	0,69	-1,04	-2,49	1,68	2
o	4	873	1477	3680	7,73	10,91	17,04	19,22	240	2,53	0,50	1,97	11,21	34,82	4,15	0,34	2,42	0,69	-1,04	-2,49	1,68	2
o	4	873	1477	3680	7,73	10,91	17,04	19,22	210	2,22	0,50	1,97	11,21	34,82	4,15	0,34	2,42	0,69	-1,04	-2,49	1,68	2
o	4	873	1477	3680	7,73	10,91	17,04	19,22	110	1,18	0,50	1,97	11,21	34,82	4,15	0,34	2,42	0,69	-1,04	-2,49	1,68	2
o	8	742	1243	3181	6,85	9,83	16,04	18,77	450	4,52	0,59	1,67	12,60	43,69	4,47	0,42	2,75	0,33	-1,18	-2,62	1,52	2
o	8	742	1243	3181	6,85	9,83	16,04	18,77	360	3,70	0,59	1,67	12,60	43,69	4,47	0,42	2,75	0,33	-1,18	-2,62	1,52	2
o	8	742	1243	3181	6,85	9,83	16,04	18,77	300	3,13	0,59	1,67	12,60	43,69	4,47	0,42	2,75	0,33	-1,18	-2,62	1,52	2

Voyelle	Age	F1	F2	F3	Z1	Z2	Z3	Z4	F0	Z0	Ac	Al	Lgth	Vol	Xc	LipP	Body	LipH	Jaw	Apex	Drsm	Lx
O	8	742	1243	3181	6,85	9,83	16,04	18,77	270	2,83	0,59	1,67	12,60	43,69	4,47	0,42	2,75	0,33	-1,18	-2,62	1,52	2
O	8	742	1243	3181	6,85	9,83	16,04	18,77	240	2,53	0,59	1,67	12,60	43,69	4,47	0,42	2,75	0,33	-1,18	-2,62	1,52	2
O	8	742	1243	3181	6,85	9,83	16,04	18,77	210	2,22	0,59	1,67	12,60	43,69	4,47	0,42	2,75	0,33	-1,18	-2,62	1,52	2
O	8	742	1243	3181	6,85	9,83	16,04	18,77	110	1,18	0,59	1,67	12,60	43,69	4,47	0,42	2,75	0,33	-1,18	-2,62	1,52	2
O	12	654	1112	2739	6,20	9,14	15,02	18,18	450	4,52	0,68	1,93	14,29	55,07	5,38	0,42	2,75	0,33	-1,18	-2,62	1,52	2
O	12	654	1112	2739	6,20	9,14	15,02	18,18	360	3,70	0,68	1,93	14,29	55,07	5,38	0,42	2,75	0,33	-1,18	-2,62	1,52	2
O	12	654	1112	2739	6,20	9,14	15,02	18,18	300	3,13	0,68	1,93	14,29	55,07	5,38	0,42	2,75	0,33	-1,18	-2,62	1,52	2
O	12	654	1112	2739	6,20	9,14	15,02	18,18	270	2,83	0,68	1,93	14,29	55,07	5,38	0,42	2,75	0,33	-1,18	-2,62	1,52	2
O	12	654	1112	2739	6,20	9,14	15,02	18,18	240	2,53	0,68	1,93	14,29	55,07	5,38	0,42	2,75	0,33	-1,18	-2,62	1,52	2
O	12	654	1112	2739	6,20	9,14	15,02	18,18	210	2,22	0,68	1,93	14,29	55,07	5,38	0,42	2,75	0,33	-1,18	-2,62	1,52	2
O	12	654	1112	2739	6,20	9,14	15,02	18,18	110	1,18	0,68	1,93	14,29	55,07	5,38	0,42	2,75	0,33	-1,18	-2,62	1,52	2
O	16	584	966	2332	5,65	8,31	13,93	17,25	450	4,52	0,77	2,06	16,86	82,71	5,73	1,49	2,95	0,29	-1,73	-3,12	-0,55	-0,91
O	16	584	966	2332	5,65	8,31	13,93	17,25	360	3,70	0,77	2,06	16,86	82,71	5,73	1,49	2,95	0,29	-1,73	-3,12	-0,55	-0,91
O	16	584	966	2332	5,65	8,31	13,93	17,25	300	3,13	0,77	2,06	16,86	82,71	5,73	1,49	2,95	0,29	-1,73	-3,12	-0,55	-0,91
O	16	584	966	2332	5,65	8,31	13,93	17,25	270	2,83	0,77	2,06	16,86	82,71	5,73	1,49	2,95	0,29	-1,73	-3,12	-0,55	-0,91
O	16	584	966	2332	5,65	8,31	13,93	17,25	240	2,53	0,77	2,06	16,86	82,71	5,73	1,49	2,95	0,29	-1,73	-3,12	-0,55	-0,91
O	16	584	966	2332	5,65	8,31	13,93	17,25	210	2,22	0,77	2,06	16,86	82,71	5,73	1,49	2,95	0,29	-1,73	-3,12	-0,55	-0,91
O	16	584	966	2332	5,65	8,31	13,93	17,25	110	1,18	0,77	2,06	16,86	82,71	5,73	1,49	2,95	0,29	-1,73	-3,12	-0,55	-0,91
O	21	506	865	2000	5,01	7,68	12,90	17,08	450	4,52	0,82	1,33	18,37	84,62	6,01	1,8	3,21	-0,07	-0,95	-1,9	0,25	1,62
O	21	506	865	2000	5,01	7,68	12,90	17,08	360	3,70	0,82	1,33	18,37	84,62	6,01	1,8	3,21	-0,07	-0,95	-1,9	0,25	1,62
O	21	506	865	2000	5,01	7,68	12,90	17,08	300	3,13	0,82	1,33	18,37	84,62	6,01	1,8	3,21	-0,07	-0,95	-1,9	0,25	1,62
O	21	506	865	2000	5,01	7,68	12,90	17,08	270	2,83	0,82	1,33	18,37	84,62	6,01	1,8	3,21	-0,07	-0,95	-1,9	0,25	1,62
O	21	506	865	2000	5,01	7,68	12,90	17,08	240	2,53	0,82	1,33	18,37	84,62	6,01	1,8	3,21	-0,07	-0,95	-1,9	0,25	1,62
O	21	506	865	2000	5,01	7,68	12,90	17,08	210	2,22	0,82	1,33	18,37	84,62	6,01	1,8	3,21	-0,07	-0,95	-1,9	0,25	1,62
O	21	506	865	2000	5,01	7,68	12,90	17,08	110	1,18	0,82	1,33	18,37	84,62	6,01	1,8	3,21	-0,07	-0,95	-1,9	0,25	1,62

## APPENDICE B

### STIMULI DU TEST DE DISCRIMINATION DE VOYELLES SYNTHÉTISÉES

Tableau B4.1  
Valeurs formantiques (en Hertz et en Bark) des stimuli synthétisés du continuum de [i] à [e]

Stimulus	F1	F2	F3	F4	F5	B1	B2	B3	B4	B5	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	pasZ1	pasZ2	pasZ3
i_1e	236	2062	3372	3466	5000	78	13	61	154	154	2,49	13,1	16,44	16,63	19,16			
i_2e	258	2037	3209	3466	5000	78	13	61	154	154	2,71	13,02	16,1	16,63	19,16	0,22	-0,08	-0,34
i_3e	280	2013	3054	3466	5000	78	13	61	154	154	2,93	12,94	15,76	16,63	19,16	0,22	-0,08	-0,34
i_4e	302	1989	2906	3466	5000	78	13	61	154	154	3,15	12,86	15,42	16,63	19,16	0,22	-0,08	-0,34
i_5e	325	1965	2764	3466	5000	78	13	61	154	154	3,37	12,78	15,08	16,63	19,16	0,22	-0,08	-0,34
i_6e	348	1941	2630	3466	5000	78	13	61	154	154	3,59	12,7	14,74	16,63	19,16	0,22	-0,08	-0,34
e_de_i	372	1918	2501	3466	5000	78	13	61	154	154	3,81	12,62	14,4	16,63	19,16	0,22	-0,08	-0,34

Tableau B4.2  
Valeurs formantiques (en Hertz et en Bark) des stimuli synthétisés du continuum de [i] à [y]

Stimulus	F1	F2	F3	F4	F5	B1	B2	B3	B4	B5	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	pasZ1	pasZ2	pasZ3
i_1y	236	2062	3372	3652	5000	78	13	61	154	154	2,49	13,1	16,44	16,99	19,16			
i_2y	236	2007	3126	3652	5000	78	13	61	154	154	2,49	12,92	15,92	16,99	19,16	0	-0,18	-0,52
i_3y	236	1953	2897	3652	5000	78	13	61	154	154	2,49	12,74	15,4	16,99	19,16	0	-0,18	-0,52
i_4y	236	1901	2684	3652	5000	78	13	61	154	154	2,49	12,56	14,88	16,99	19,16	0	-0,18	-0,52
i_5y	236	1850	2486	3652	5000	78	13	61	154	154	2,49	12,38	14,36	16,99	19,16	0	-0,18	-0,52
i_6y	236	1800	2302	3652	5000	78	13	61	154	154	2,49	12,2	13,84	16,99	19,16	0	-0,18	-0,52
y_de_i	236	1751	2131	3652	5000	78	13	61	154	154	2,49	12,02	13,32	16,99	19,16	0	-0,18	-0,52

Tableau B4.3  
Valeurs formantiques (en Hertz et en Bark) des stimuli synthétisés du continuum de [y] à [u]

Stimulus	F1	F2	F3	F4	F5	B1	B2	B3	B4	B5	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	pasZ1	pasZ2	pasZ3
y_1u	236	1757	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	12,04	13,1	16,28	19,16			
y_2u	236	1688	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	11,78	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_3u	236	1622	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	11,52	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_4u	236	1559	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	11,26	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_5u	236	1497	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	11	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_6u	236	1437	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	10,74	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_7u	236	1380	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	10,48	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_8u	236	1324	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	10,22	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_9u	236	1270	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	9,96	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_10u	236	1218	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	9,7	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_11u	236	1168	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	9,44	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_12u	236	1119	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	9,18	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_13u	236	1071	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	8,92	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_14u	236	1026	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	8,66	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_15u	236	981	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	8,4	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_16u	236	938	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	8,14	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_17u	236	896	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	7,88	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_18u	236	856	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	7,62	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_19u	236	816	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	7,36	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_20u	236	778	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	7,1	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
y_21u	236	741	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	6,84	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0
u_de_y	236	705	2062	3294	5000	88	40	19	19	19	2,49	6,58	13,1	16,28	19,16	0	-0,26	0

## APPENDICE C

### TAUX DE COHÉRENCE DES PERCEPTS FOURNIS AU TEST D'IDENTIFICATION

Tableau C5.1  
Taux de cohérence calculés chez chacun des sujets

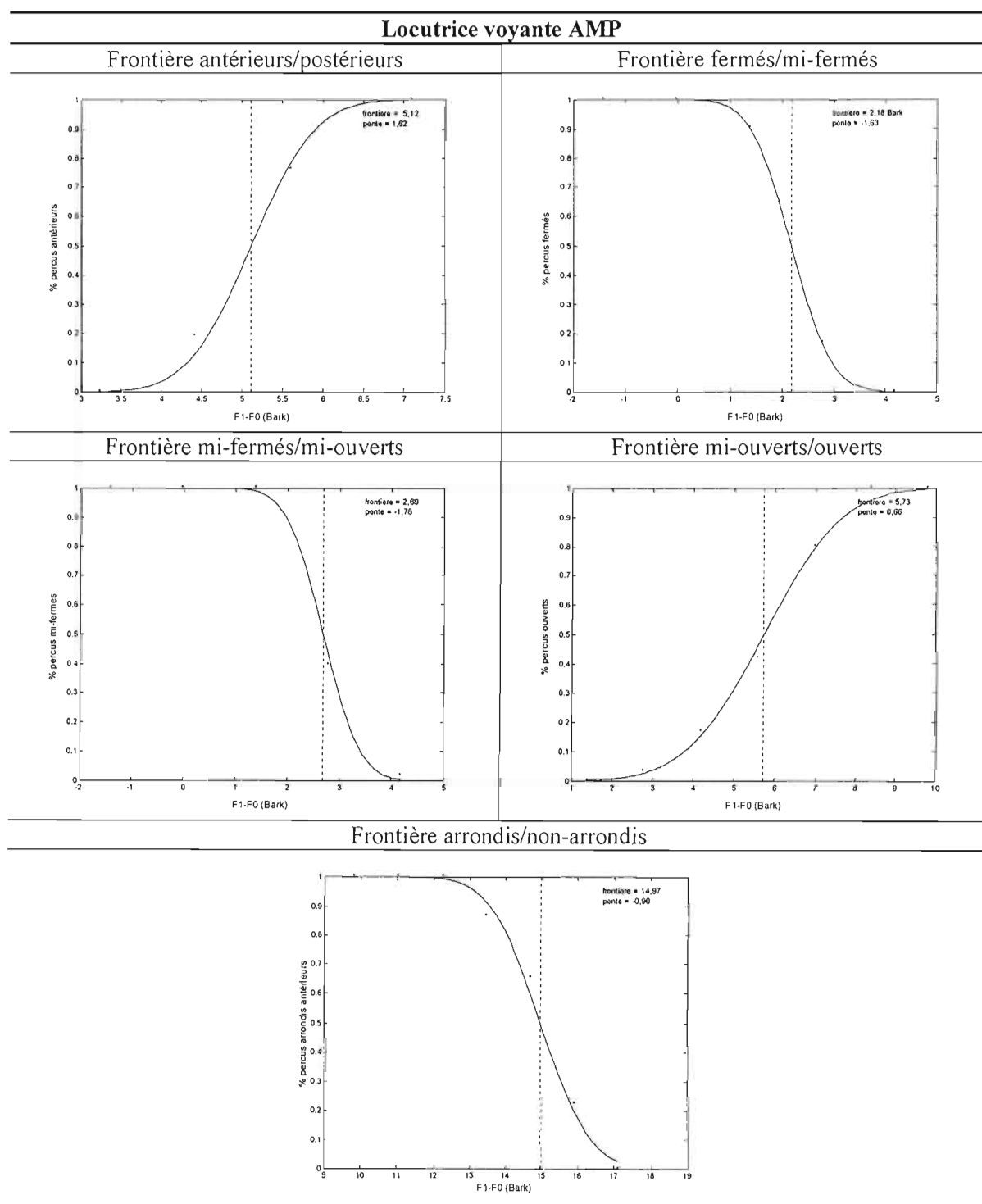
Voyants								
Sujets	Globale	%	Aperture	%	Antériorité	%	Arrondissement	%
amp	335/490	68,37	374/490	76,33	445/490	90,82	275/27+275	91,06
cd	368/490	75,10	395/490	80,61	466/490	95,10	307/22+307	93,31
cr	383/490	78,16	420/490	85,71	465/490	94,90	283/26+283	91,59
fg	391/490	79,80	430/490	87,76	467/490	95,31	242/50+242	82,88
fm	359/490	73,27	388/490	79,18	481/490	98,16	270/28+270	90,60
rb	351/490	71,63	398/490	81,22	454/490	92,65	259/33+259	88,70
Moyenne		74,39		81,80		94,49		89,69
Aveugles								
Sujets	Globale	%	Aperture	%	Antériorité	%	Arrondissement	%
yl	346/490	70,61	400/490	81,63	444/490	90,61	283/29+283	90,71
ss	389/490	79,39	420/490	85,71	460/490	93,88	281/21+281	93,05
sn	329/490	67,14	371/490	75,71	442/490	90,20	262/37+262	87,63
fb	379/490	77,35	406/490	82,86	465/490	94,90	280/19+280	93,65
dm	348/490	71,02	395/490	80,61	452/490	92,24	290/25+290	92,06
cp	299/490	61,02	349/490	71,22	435/490	88,78	249/34+249	87,99
Moyenne		71,09		79,63		91,77		90,85

## APPENDICE D

### FRONTIÈRES CATÉGORIELLES ET ORGANISATION PERCEPTIVE

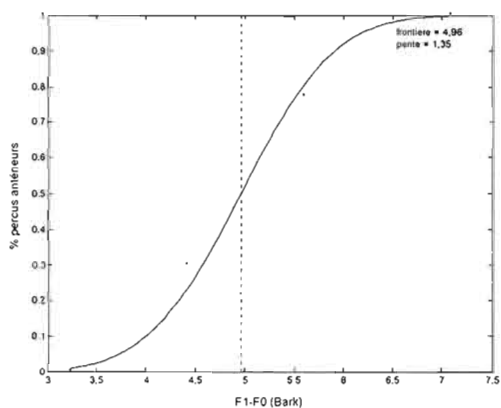


Figures D5.1 à 5.24  
Frontières catégorielles et pentes Probit et ellipses de dispersion des percepts

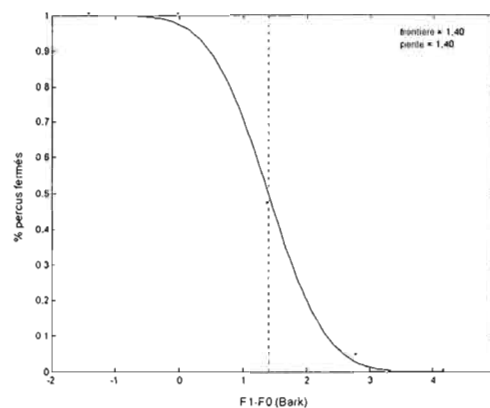


### Locutrice voyante CR

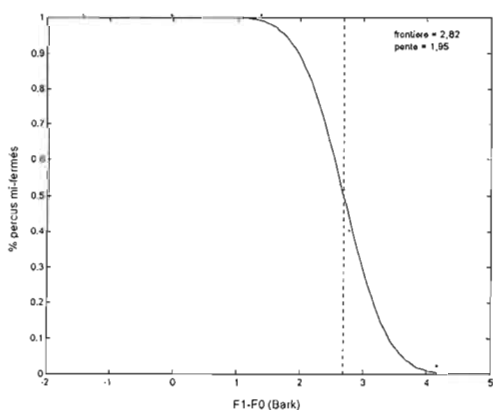
Frontière antérieurs/postérieurs



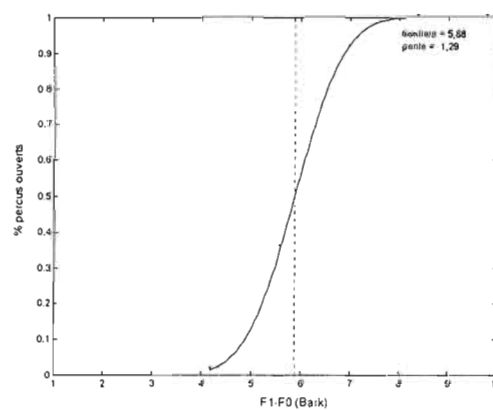
Frontière fermés/mi-fermés



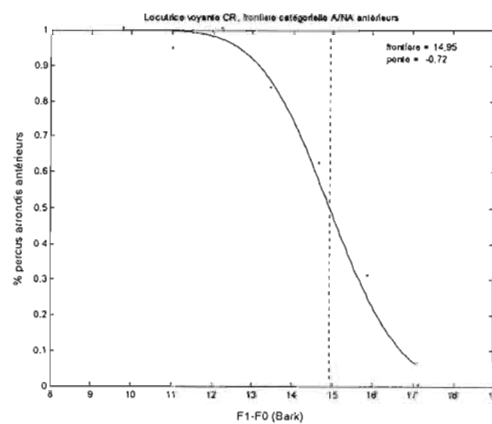
Frontière mi-fermés/mi-ouverts



Frontière mi-ouverts/ouverts

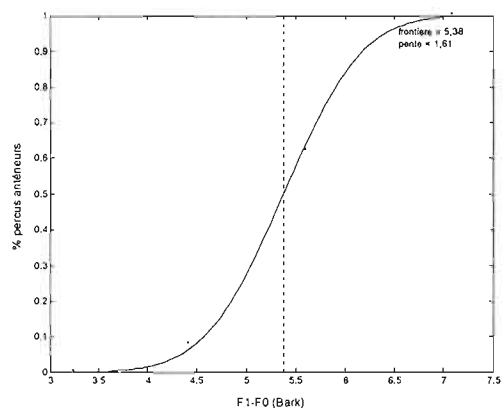


Frontière arrondis/non-arrondis

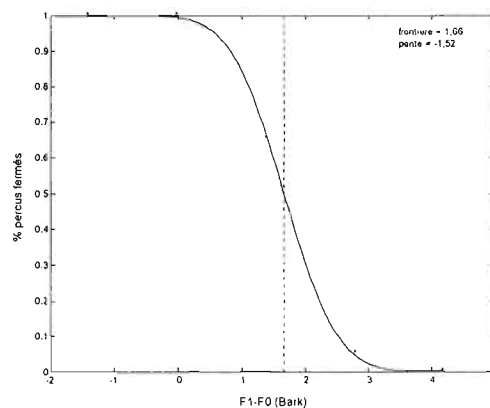


# Locutrice voyante RB

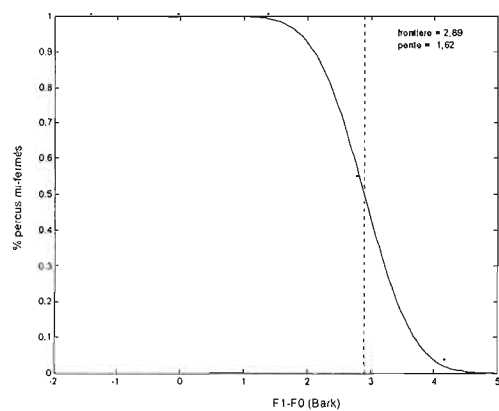
## Frontière antérieurs/postérieurs



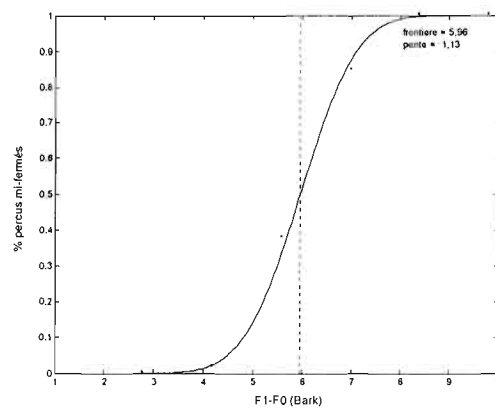
## Frontière fermés/mi-fermés



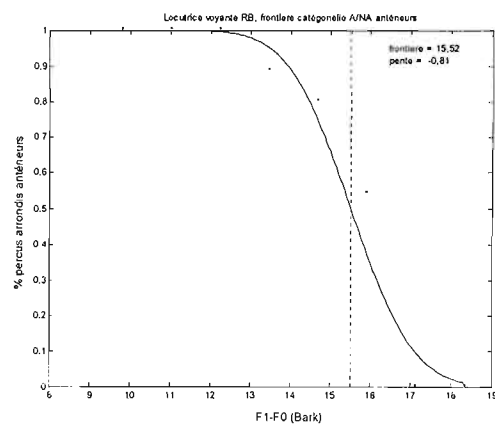
## Frontière mi-fermés/mi-ouverts



## Frontière mi-ouverts/ouverts

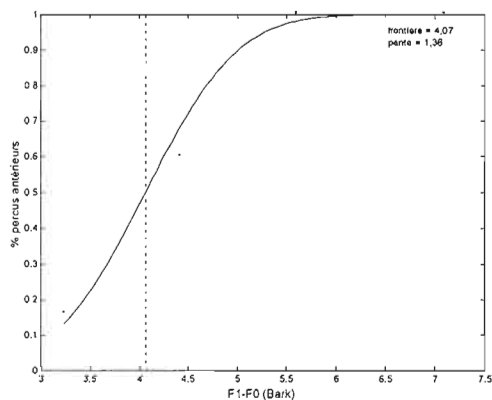


## Frontière arrondis/non-arrondis

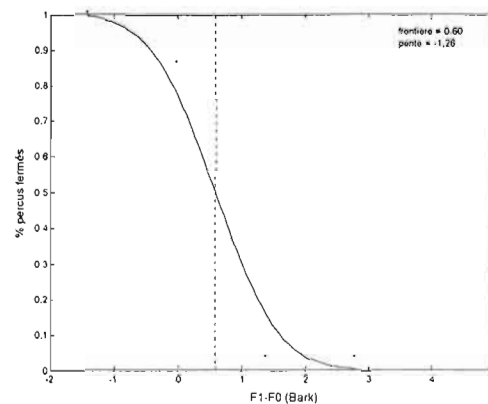


## Locuteur voyant CD

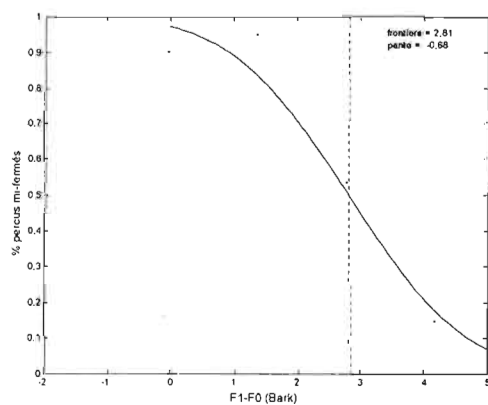
Frontière antérieurs/postérieurs



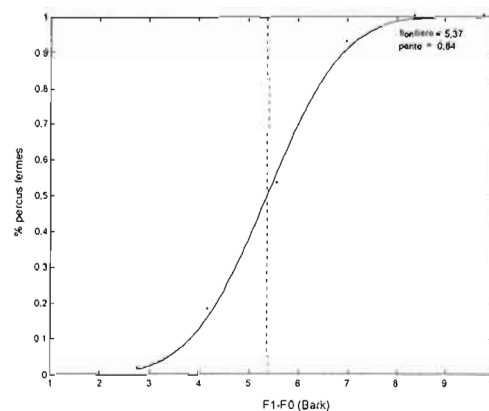
Frontière fermés/mi-fermés



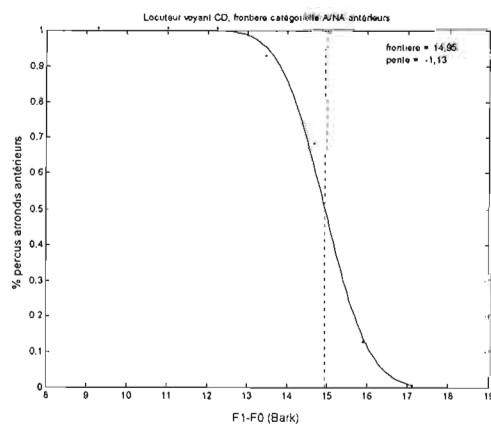
Frontière mi-fermés/mi-ouverts



Frontière mi-ouverts/ouverts

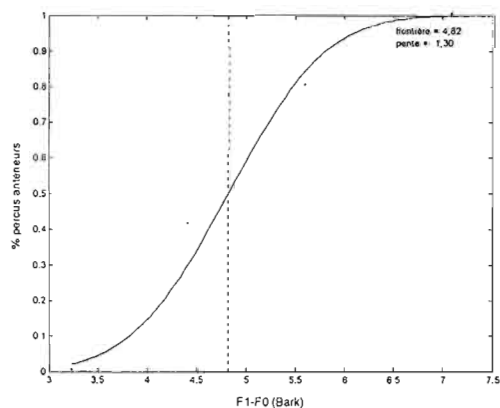


Frontière arrondis/non-arrondis

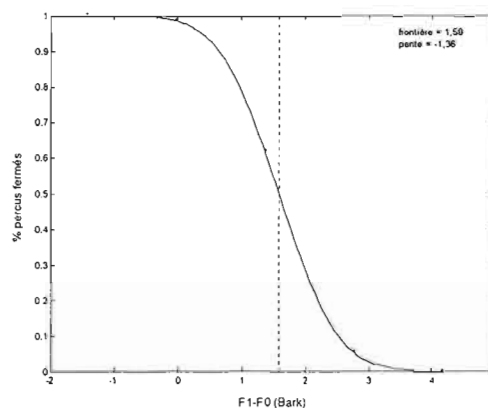


# Locuteur voyant FG

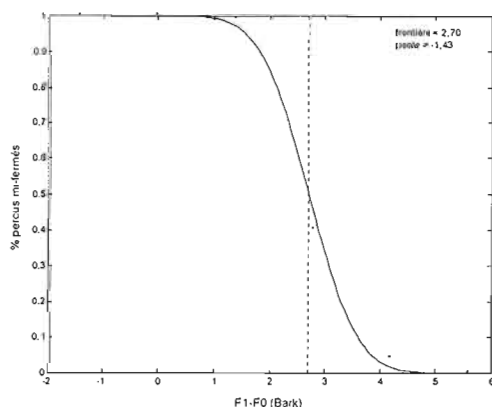
## Frontière antérieurs/postérieurs



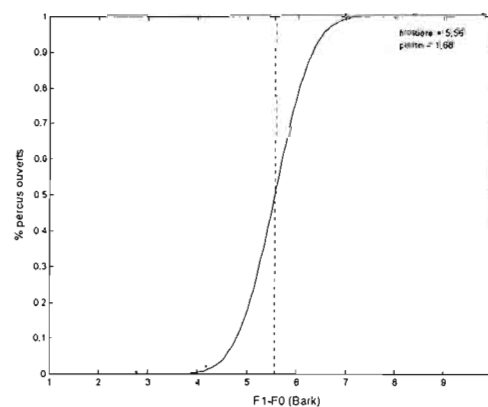
## Frontière fermés/mi-fermés



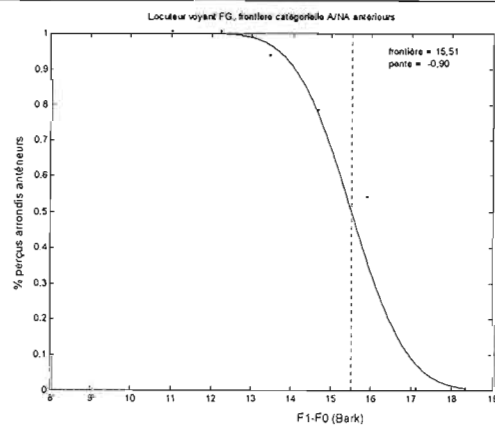
## Frontière mi-fermés/mi-ouverts



## Frontière mi-ouverts/ouverts



## Frontière arrondis/non-arrondis

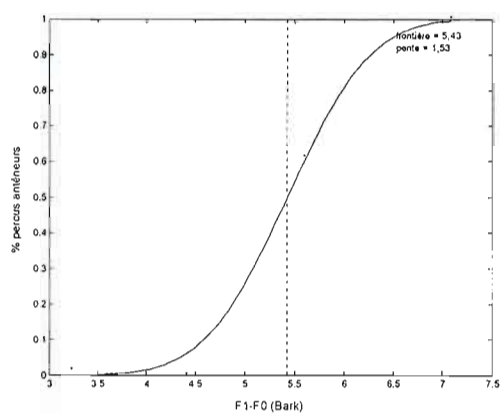


---

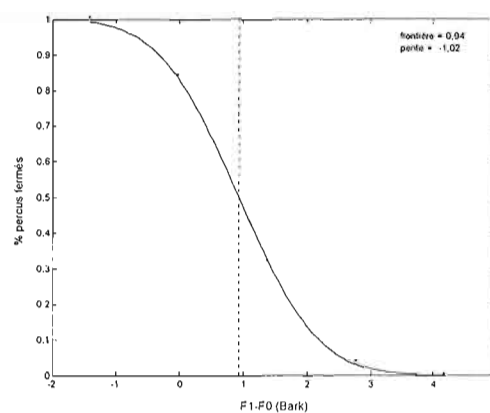
**Locuteur voyant FM**


---

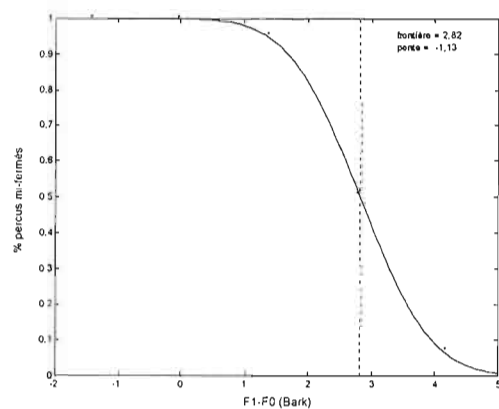
Frontière antérieurs/postérieurs



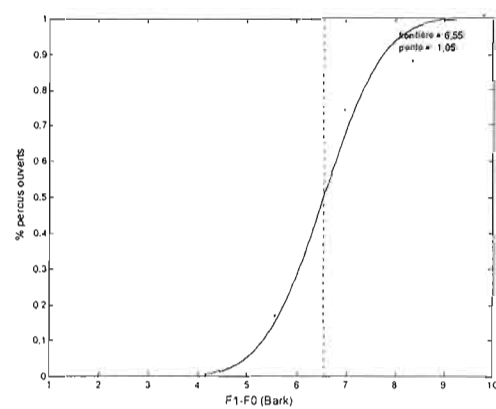
Frontière fermés/mi-fermés



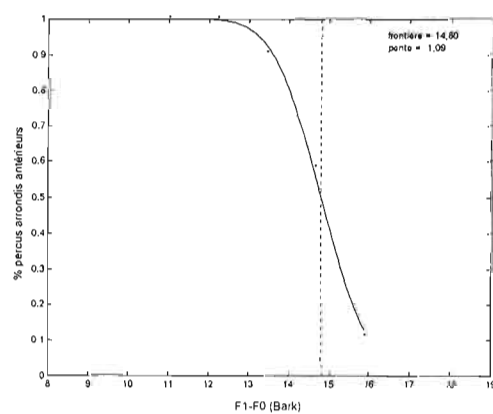
Frontière mi-fermés/mi-ouverts



Frontière mi-ouverts/ouverts

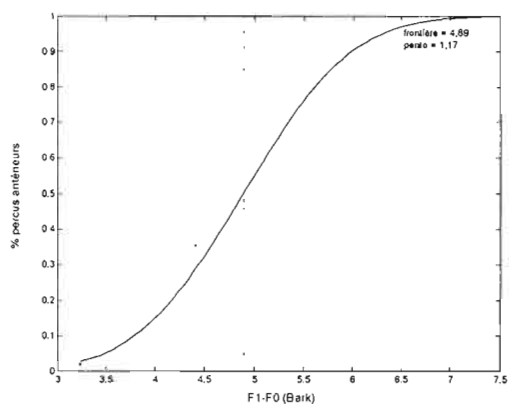


Frontière arrondis/non-arrondis

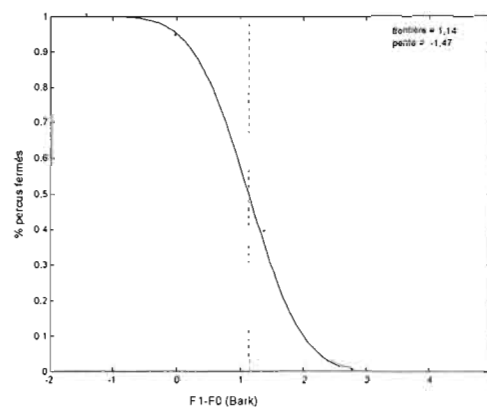


# Locuteur aveugle CP

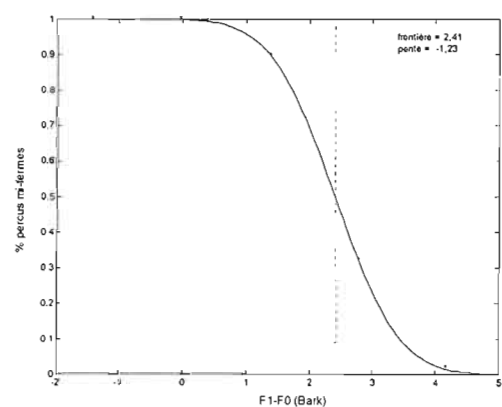
## Frontière antérieurs/postérieurs



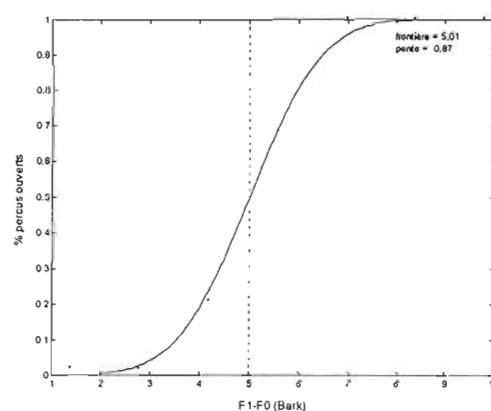
## Frontière fermés/mi-fermés



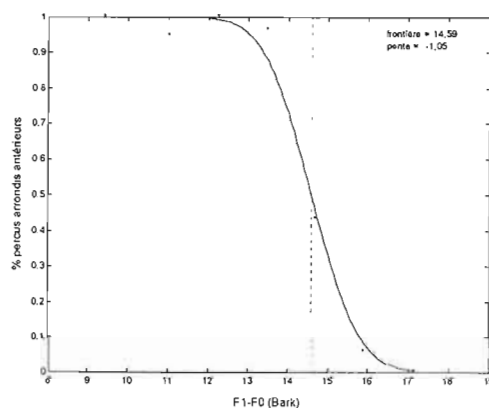
## Frontière mi-fermés/mi-ouverts



## Frontière mi-ouverts/ouverts

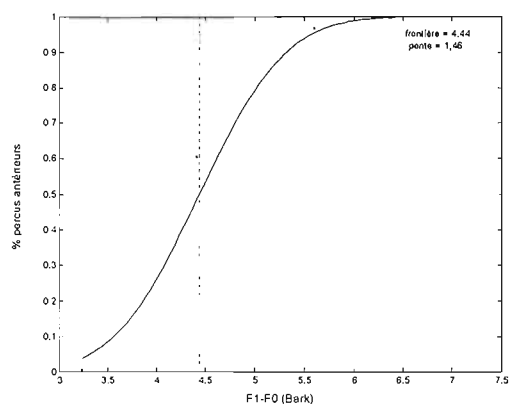


## Frontière arrondis/non-arrondis

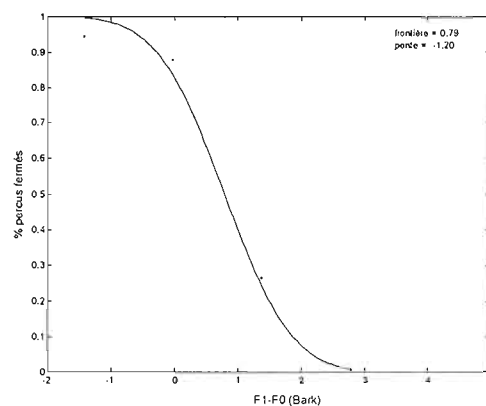


# Locutrice aveugle DM

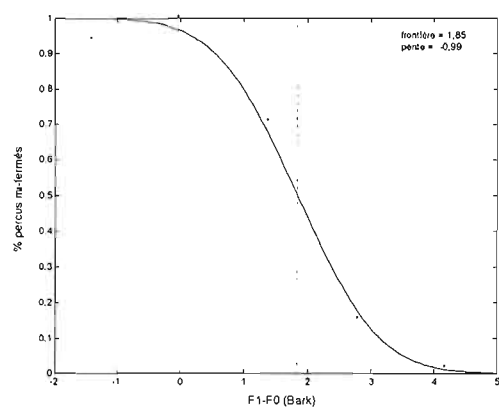
## Frontière antérieurs/postérieurs



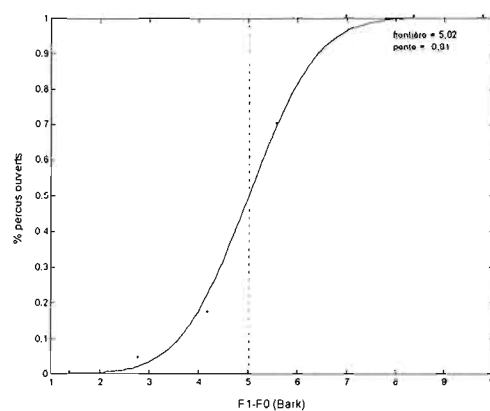
## Frontière fermés/mi-fermés



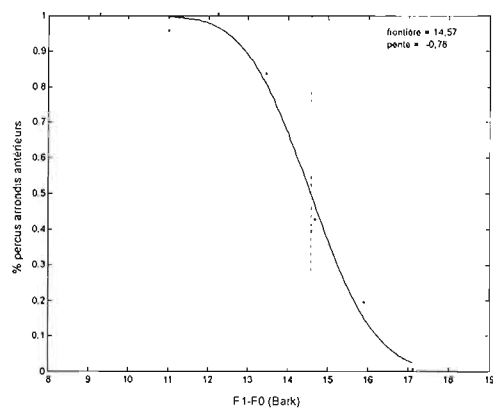
## Frontière mi-fermés/mi-ouverts



## Frontière mi-ouverts/ouverts



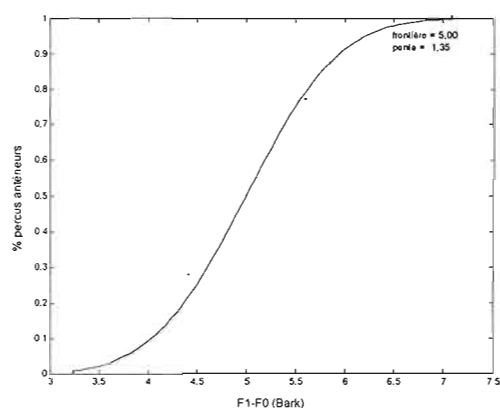
## Frontière arrondis/non-arrondis



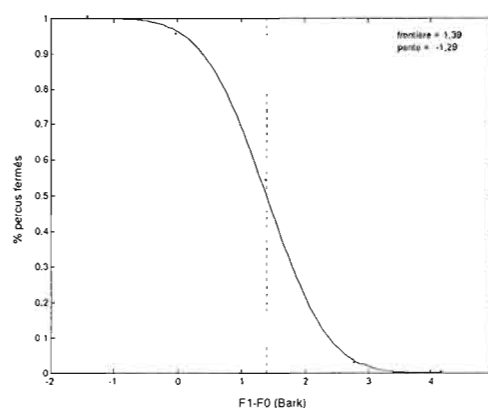


# Locutrice aveugle FB

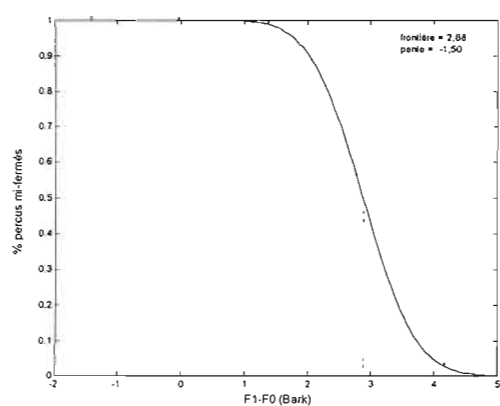
## Frontière antérieurs/postérieurs



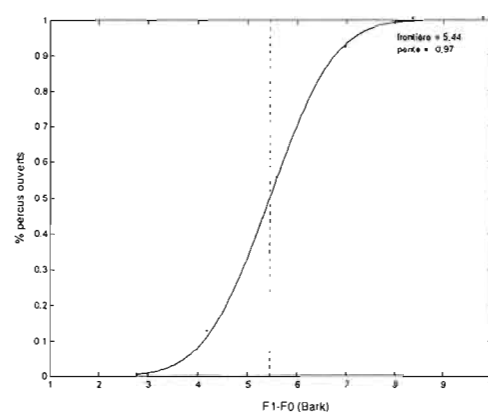
## Frontière fermés/mi-fermés



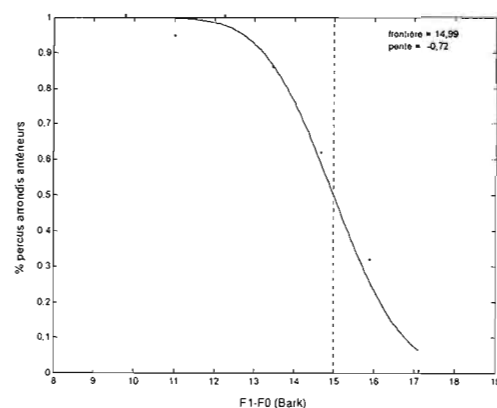
## Frontière mi-fermés/mi-ouverts



## Frontière mi-ouverts/ouverts

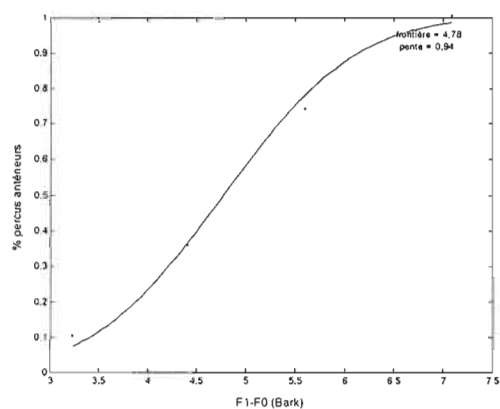


## Frontière arrondis/non-arrondis

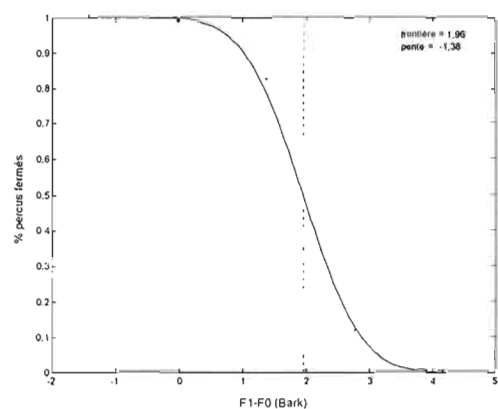


# Locuteur aveugle SN

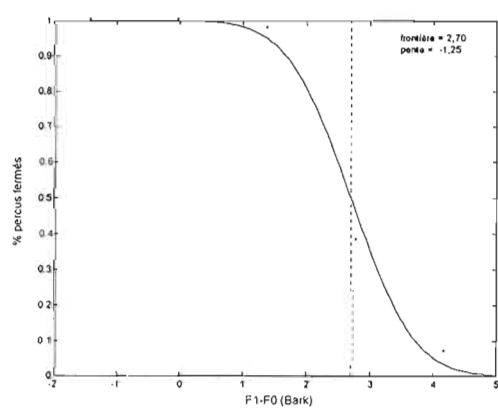
## Frontière antérieurs/postérieurs



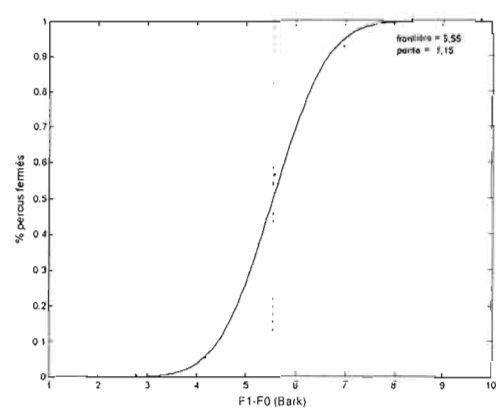
## Frontière fermés/mi-fermés



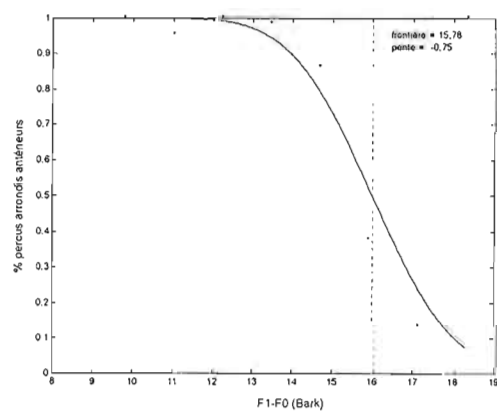
## Frontière mi-fermés/mi-ouverts



## Frontière mi-ouverts/ouverts



## Frontière arrondis/non-arrondis

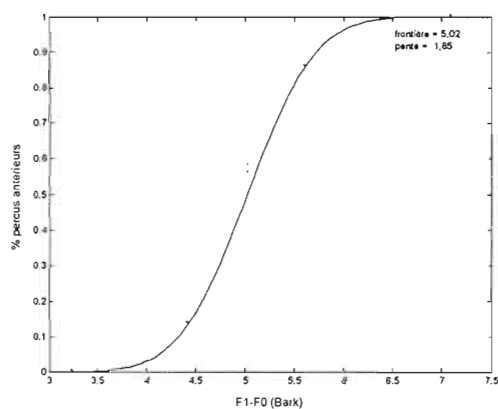


---

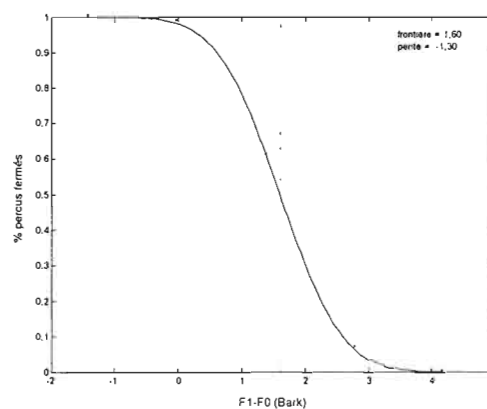
 Locutrice aveugle SS
 

---

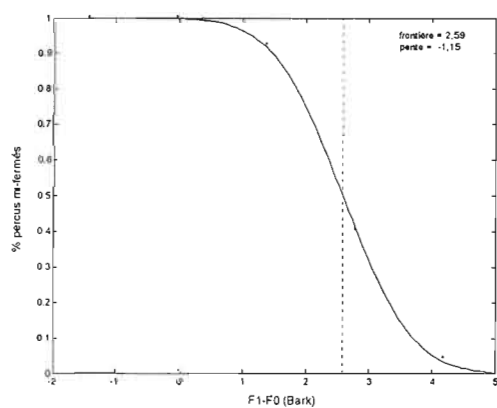
Frontière antérieurs/postérieurs



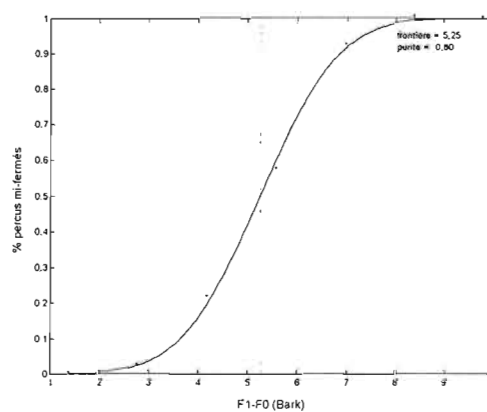
Frontière fermés/mi-fermés



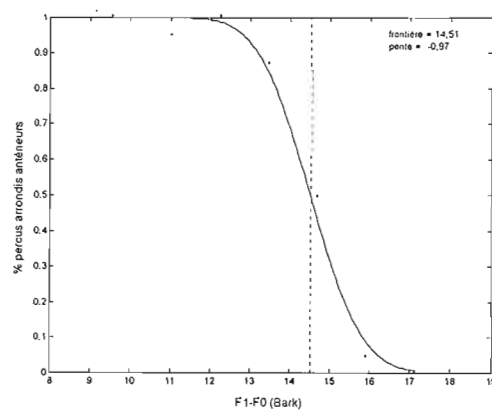
Frontière mi-fermés/mi-ouverts



Frontière mi-ouverts/ouverts

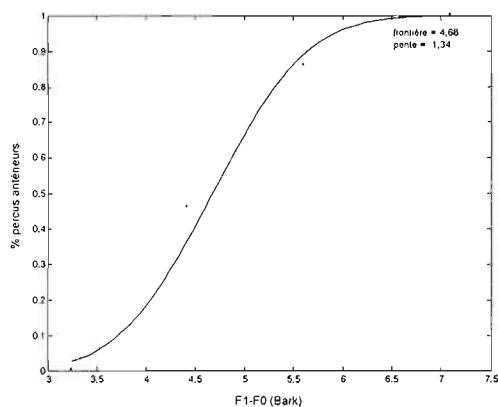


Frontière arrondis/non-arrondis

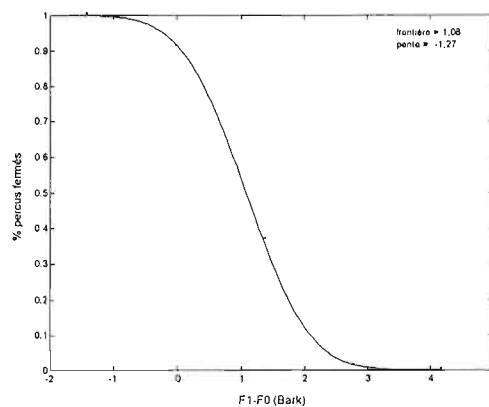


## Locuteur aveugle YL

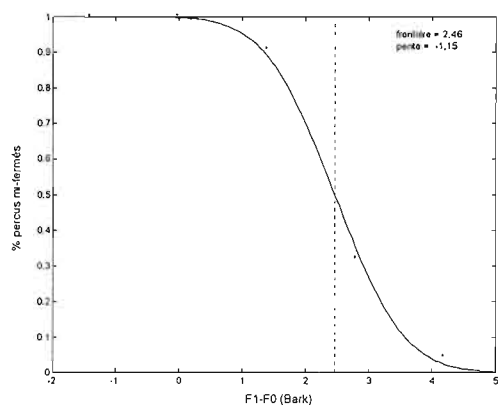
Frontière antérieurs/postérieurs



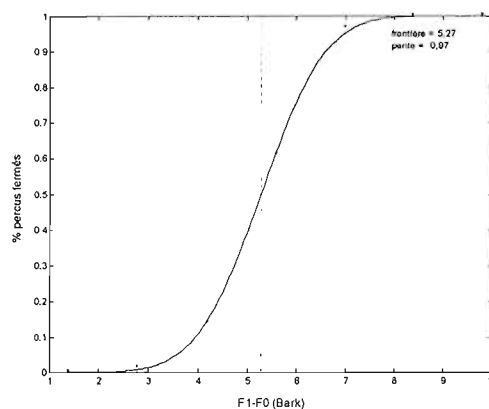
Frontière fermés/mi-fermés



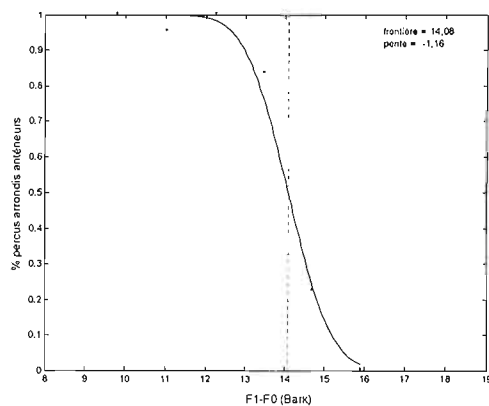
Frontière mi-fermés/mi-ouverts



Frontière mi-ouverts/ouverts

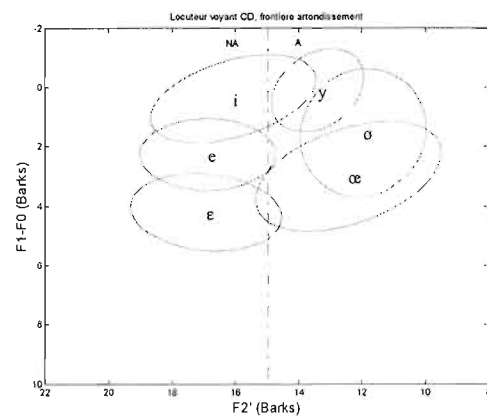
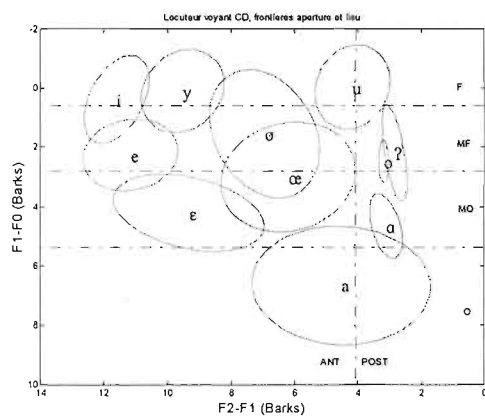


Frontière arrondis/non-arrondis

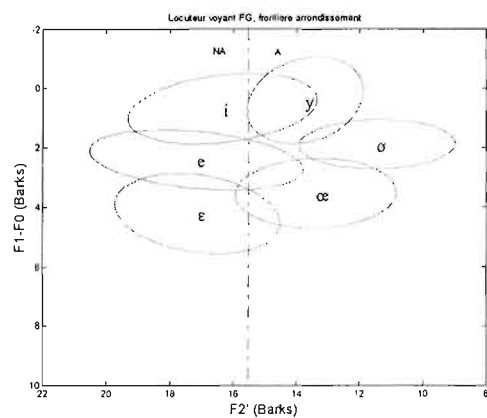
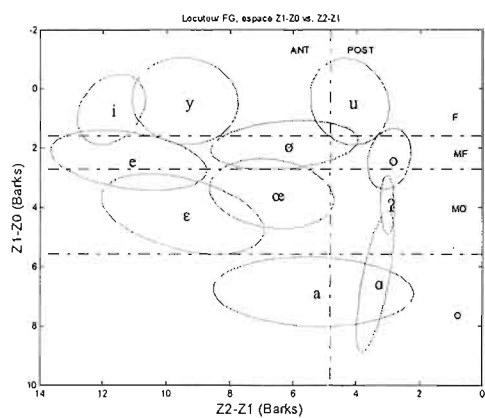




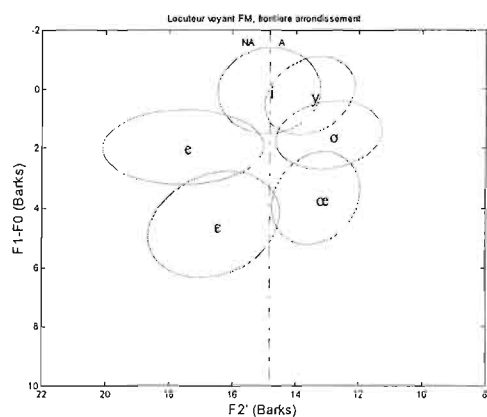
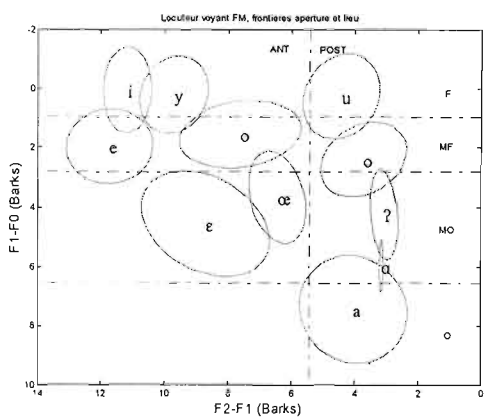
### Locuteur voyant CD



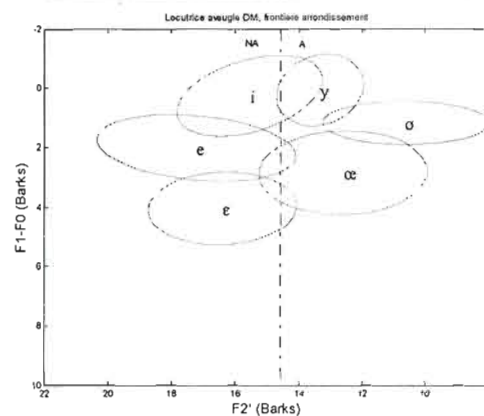
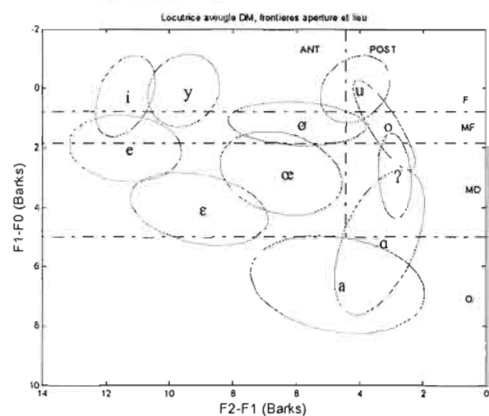
### Locuteur voyant FG



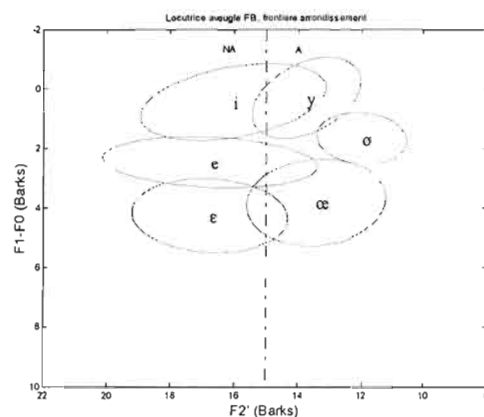
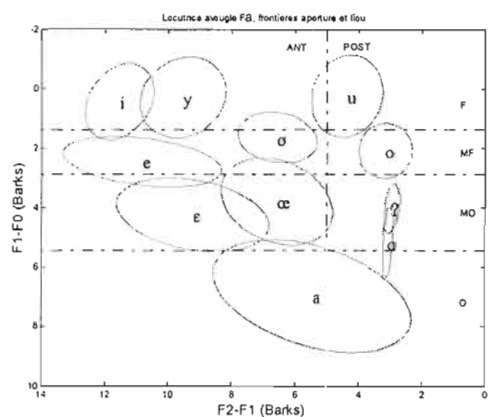
### Locuteur voyant FM



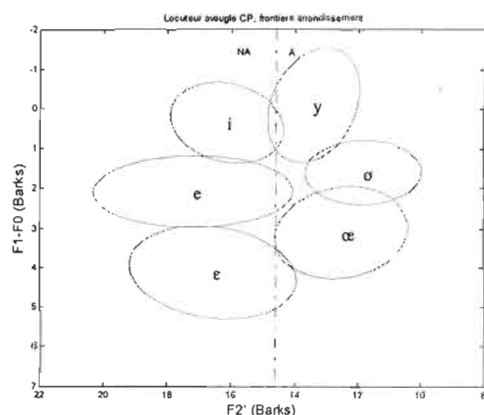
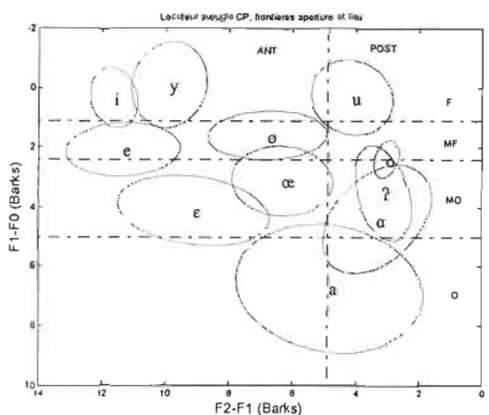
### Locutrice aveugle DM



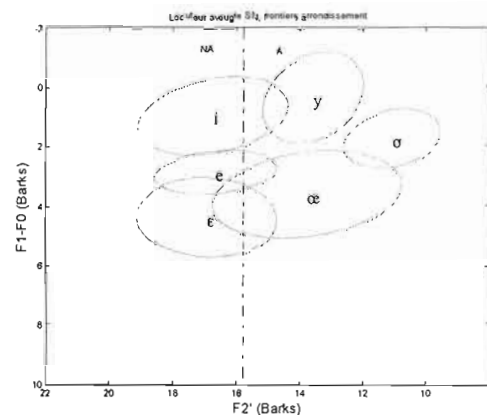
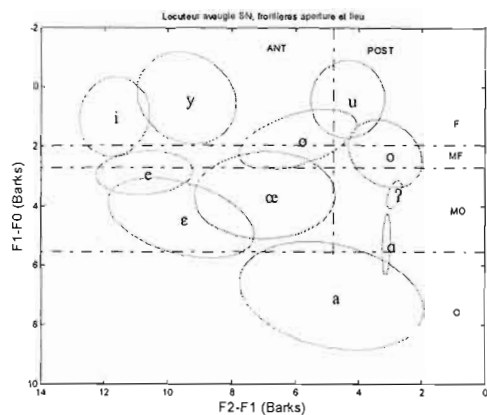
### Locutrice aveugle FB



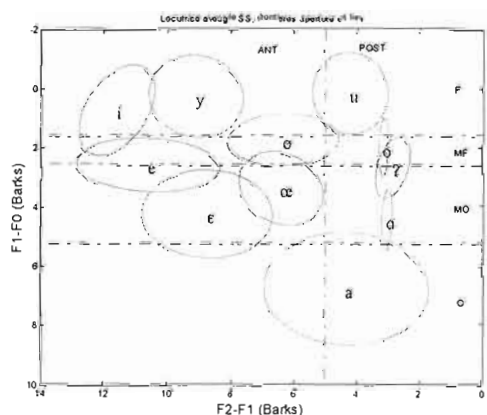
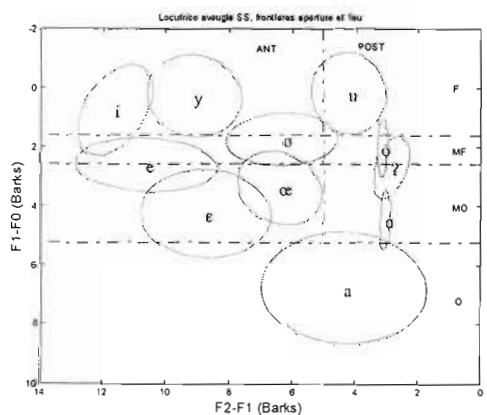
### Locuteur aveugle CP



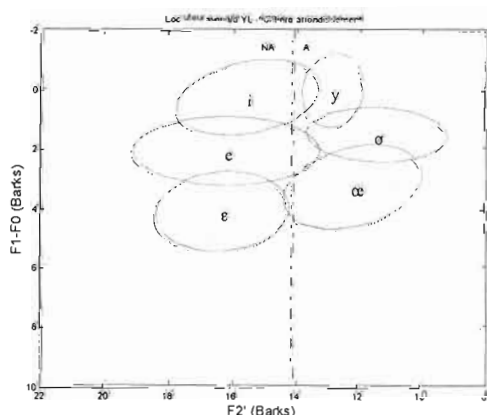
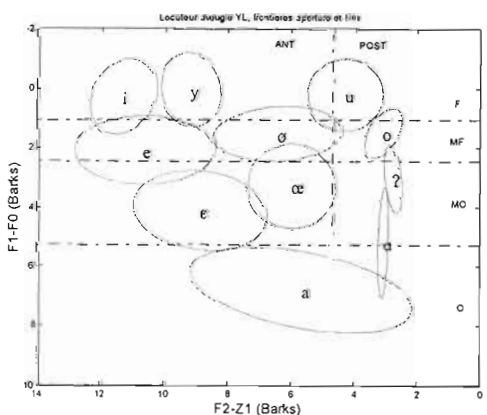
### Locuteur aveugle SN



### Locutrice aveugle SS



### Locuteur aveugle YL





## APPENDICE E

### DISTANCES EUCLIDIENNES ENTRE LES ELLIPSES DE DISPERSION DES VOYELLES PRODUITES







































































### Locuteur aveugle YL(suite)

Condition avec bruit. Distances euclidiennes en Hertz des ellipses de dispersion dans l'espace articulatoire-acoustique F1 vs F2

[illegible]

Condition sans bruit. Distances euclidiennes en Bark des ellipses de dispersion dans l'espace acoustico-auditif F1-F0 vs F2-F1

[illegible]

Condition avec bruit. Distances euclidiennes en Bark des ellipses de dispersion dans l'espace acoustico-auditif F1-F0 vs F2-F1

[illegible]

## BIBLIOGRAPHIE

- Abry, C., L.-J. Boë, P. Corsi, R. Descout, M. Gentil, et P. Graillot. 1980. *Labialité et phonétique. Données fondamentales et études expérimentales sur la géométrie et la motricité labiales*. Publications de l'Université des Langues et Lettres de Grenoble (France).
- Abry, C., et J.-L. Schwartz. 1988-1989. « La perception visuelle de la parole: aperçu de l'état des connaissances de Phonétique de Grenoble ». *Bulletin la communication parlée*, no 17-18, p. 109-193.
- Abry, C., et T. Lallouache. 1995. « Le MEM : un modèle d'anticipation paramétrable par le locuteur. Données sur l'arrondissement en français ». *Bulletin de la communication parlée*, no 3, p. 85-99.
- Abry, C., T. Lallouache, et M.-A. Cathiard. 1996. « How can coarticulation model account for speech sensitivity to audiovisual desynchronisation? ». In *Speechreading by Humans and Machines*, sous la dir. de D. Stork et M. Henneke, NATO ASI Series 150, p. 247-255.
- Ainsworth, W. A., et K. K. Paliwal. 1984. « Correlations between production and perception of English glides /w, r, l, j/ ». *Journal of Phonetics*, no 12, p. 237-243.
- Audouy, M. 2000. Logiciel de traitement d'images vidéo pour la détermination de mouvements des lèvres. ENSIMA, Grenoble (France).
- Bell-Berti, F., L. J. Raphael, D. B. Pisoni, et J. R. Sawush. 1979. « Some relationships between speech production and perception ». *Phonetica*, no 36, p. 373-383.
- Bell-Berti, F., et K. Harris. 1982. « Coarticulation of upper lip protrusion in French ». *Phonetica*, no 30, p. 41-55.
- Boë, L.-J., P. Perrier, et A. Morris. 1992. *Une prédiction de l'audibilité des gestes de la parole à partir d'une modélisation articulatoire*. 19<sup>e</sup> Journées d'Étude sur la Parole, Bruxelles (Belgique).
- Camirand, J. 2001. *Enquête québécoise sur les limitations d'activités, 1998*. Québec : Institut de la statistique du Québec, 516 p.
- Cathiard, M.-A. 1994. « La perception visuelle de l'anticipation des gestes vocaliques: cohérence des événements audibles et visibles dans le flux de la parole ». Thèse de doctorat en Sciences cognitives. Grenoble, Université Pierre Mendès-France, 333 p.

- Elster, W. 1983. « Abnormalities in the verbal communication of visually-impaired children ». In *Language acquisition in the blind child*, sous la dir. de A. E. Mills, p.18-41. London: Croom Helm.
- Erber, N. P. 1975. « Auditory-visual perception of speech ». *Journal of Speech and Hearing Disorders*, no 40, p. 99-112.
- Fisher, C. G. 1968. « Confusions among visually perceived consonants ». *Journal of Speech and Hearing Research*, no 11, p. 796-804.
- Fowler, C. A. 1996. « Listeners do hear sounds, not tongues ». *Journal of the Acoustical Society of America*, no 99, vol 3, p. 1730-1741.
- Fox, R. A. 1982. « Individual variation in the perception of vowels ». *Phonetica*, no 39, p. 1-22.
- Gougoux, F., F. Lepore, M. Lassonde, P. Voss, R. J. Zatorre, et P. Belin. 2004. « Pitch discrimination in the early blind ». *Nature*, p. 430: 309.
- Göllesz, V. 1972. « Über die Lippenartikulation der von Geburt an Blinden. » *Speech Symposium*, Budapest, Akadémiai Kiado.
- Guenther, F. H., et S. S. Ghosh. 2003. « A model of cortical and cerebellar function in speech ». 15<sup>th</sup> International Congress of Phonetic Sciences, Barcelone.
- Henke, W. L. 1966. « Dynamic articulatory model of speech production using computer simulation ». Cambridge, M.I.T.
- Hugdahl, K., M. Ek, F. Takio, T. Rintee, J. Tuomainen, et C. Haarala. 2004. « Blind individuals show enhanced perceptual and attentional sensitivity for identification of speech sounds ». *Cognitive Brain Research*, no 19, p. 28-32.
- Johnson, K. 1997. *Acoustic and Auditory Phonetics*. Cambridge (MA), Blackwell Publishers.
- Jutras, B., J.-P. Gagné, M. Picard, et J. Roy. 1998. « Identification visuelle et catégorisation de consonnes en français québécois ». *Revue d'orthophonie et d'audiologie*, no 22, vol 2, p. 81-87.
- Kuhl, P. K., et A. N. Meltzoff. 1982. « The bimodal perception of speech in infancy ». *Science*, no 218, p. 1138-1141.
- Lane, H., M. Matthies, J. Perkell, J. Vick, et M. Zandipour. 2001. « The effects of changes in hearing status in cochlear implant users on the acoustic vowel space and CV coarticulation ». *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, no 44, p. 552-563.

- Legerstee, M. 1990. « Infants use multimodal information to imitate speech sounds ». *Infant Behaviour and Development*, no 13, p. 343-354.
- Liberman, A. M., et I. G. Mattingly. 1985. « The motor theory of speech perception revised ». *Cognition*, no 21, p. 1-36.
- Lindblom, B. 1996. « Role of articulation in speech perception: clues from production ». *Journal of the Acoustical Society of America*, no 99, p. 1683-1692.
- Lisker, L., et M. Rossi. 1992. « Auditory and visual cueing of the [±rounded] feature of vowels ». *Language and Speech*, no 35, p. 391-417.
- Lucas, S. A. 1984. « Auditory discrimination and speech production in the blind child ». *International Journal of Rehabilitation Research*, p. 74-76.
- MacDonald, J. W., et H. McGurk. 1978. « Visual influences on speech perception processes ». *Perception & Psychophysics*, no 24, p. 253-257.
- Maeda, S. 1989. « Compensatory articulation during speech: evidence from the analysis and synthesis of vocal-tract shapes using an articulatory model » In *Speech production and Modelling*, sous la dir. de W. J. Hardcastle et A. Marshal, p. 131-149, Kluwer: Academic Publishers.
- Mantakas, M. 1989. « Application du second formant effectif F2' à l'étude de l'opposition d'arrondissement des voyelles antérieures du français ». Thèse de doctorat en Systèmes Électroniques. Grenoble, INPG.
- Martin, P. 1996. *Éléments de phonétique, avec application au français*. Sainte-Foy (Québec) : Presses de l'Université Laval, 256 p.
- Massaro, D. W. 1984. « Children's perception of visual and auditory speech ». *Child Development*, no 55, p. 1777-1788.
- Mayo, C., Scobbie, J. M., Hewlett, N., et D. Waters. 2003. « The influence of phonemic awareness development on acoustic cue weighting strategies in children's speech perception ». *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, no 46, p. 1184-1196.
- McGurk, H., et J. W. MacDonald. 1976. « Hearing lips et seeing voices ». *Nature*, no 264, p. 746-748.
- Ménard, L. 2002. « Production et perception des voyelles au cours de la croissance du conduit vocal: variabilité, invariance et normalisation ». Thèse de doctorat en Sciences du Langage. Grenoble, Université Stendhal Grenoble 3.
- Ménard, L., J.-L. Schwartz, L.-J. Boë, S. Kandel, et N. Vallée. 2002. « Auditory normalization of French vowels synthesized by an articulatory model simulating

- growth from birth to adulthood ». *Journal of the Acoustical Society of America*, no 111, vol 4, p. 1892-1905.
- Miller, J. 1992. « Diderot reconsidered: visual impairment and auditory compensation ». *Journal of Visual Impairment & Blindness*, no 86, vol 5, p. 206-210.
- Mills, A. E. 1983. *Language acquisition in the blind child: normal and deficient*. San Diego (CA), College-Hill Press.
- Mills, A. E. 1987. « The development of phonology in the blind child ». In *Hearing by eye: the psychology of lip-reading*, sous la dir. de B. Dodd et R. Campbell, p. 145-161. London: Erlbaum Associates.
- Mohamadi, T., et C. Benoît. 1992. *Le gain des lèvres: Intelligibilité auditive et visuelle de la parole bruitée en français*. 19<sup>e</sup> Journées d'Étude sur la Parole, Bruxelles (Belgique).
- Montgomery, A. A., et P. L. Jackson. 1983. « Physical characteristics of the lips underlying vowel lipreading performance ». *Journal of the Acoustical Society of America*, no 73, vol 6, p. 2134-2144.
- Newman, R. S. 2003. « Using links between speech perception and speech production to evaluate different acoustic metrics: a preliminary report ». *Journal of the Acoustical Society of America*, no 13, vol 4, p. 2850-2860.
- Niemeyer, W., et I. Starlinger. 1981. « Do the blind hear better? Investigations in auditory processing in congenital or early acquired blindness. II Central functions ». *Audiology*, no 20, p. 510-515.
- Nittrouer, S. 1992. « Age-related differences in perceptual effects of formant transitions within syllables and across syllable boundaries ». *Journal of Phonetics*, no 20, p. 351-382.
- Noiray, A., L. Ménard, M.-A. Cathiard, C. Abry, et C. Savariaux. 2004. *The development of anticipatory coarticulation in French: a pioneering study*. 8<sup>th</sup> International Conference on Spoken Language Processing, Jeju Island (Corée).
- Öhrström, N., H. Traunmüller. 2004. *Audiovisual perception of Swedish vowels with and without conflicting cues*. FONETIK 204, Stockholm (Suède).
- Paliwal, K. K., D. Lindsay, et W. A. Ainsworth. 1983. « Correlation between production and perception of English vowels ». *Journal of Phonetics*, no 11, vol 1, p. 77-83.
- Perkell, J. S., et C. Chiang. 1986. *Preliminary support for a hybrid model of anticipatory coarticulation*. 12<sup>th</sup> International Conference of Acoustics, Toronto (Ontario).
- Perkell, J. S. 1990. « Testing theories of speech production: Implications of some detailed analyses of variable articulatory data ». In *Speech Production and Speech Modelling*,

- sous la dir. de W. J. Hardcastle et A. Marshal, p. 263-288. Kluwer: Academic Publishers.
- Perkell, J., et M. L. Matthies. 1992. « Temporal measures of anticipatory labial coarticulation for the vowel /u/: within and cross subject variability ». *Journal of the Acoustical Society of America*, no 91, vol 5, p. 2911-2925.
- Perkell, J., M. Matthies, F. Guenther, M. Tiede, M. Zandipour, E. Stockmann, et N. Marrone. 2003. « Sensory goals for speech movements: cross-subject relations among production, perception and the use of an articulatory saturation effect ». *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Seminar on Speech Production*, p. 219-224, Sydney (Australie).
- Perkell, J., F. Guenther, H. Lane, H., M. Matthies, E. Stockmann, M. Tiede, et M. Zandipour. 2004. « The distinctness of speakers' productions of vowel contrasts is related to their discrimination of the contrasts ». *Journal of the Acoustical Society of America*, no 116, vol 4, p. 2338-2344.
- Prost, V., R. Espesser, C. Sabater, K. Thomas-Bartalucci, et V. Rey. 2002. « Entraînement de la conscience phonologique d'enfants déficients visuels: quel support temporo-phonologique? ». 14<sup>e</sup> Journées d'Étude sur la Parole, Nancy (France).
- Raphael, L. J., et F. Bell-Berti. 1975. « Tongue musculature and the feature of tension in English vowels ». *Phonetica*, no 32, p. 61-73.
- Robert-Ribes, J., J.-L. Schwartz, et P. Escudier. 1995. « A comparison of models for fusion of the auditory and visual sensors in speech perception ». *Artificial Intelligence Review*, no 9, p. 4-5.
- Robert-Ribes, J., J. L. Schwartz, T. Lallouache, et P. Escudier. 1998. « Complementarity and synergy in bimodal speech: Auditory, visual and audio-visual identification of French oral vowels in noise ». *Journal of the Acoustical Society of America*, no 103, vol 6, p. 3677-3689.
- Schomaker, L., et S. Munch. 1995. « A taxonomy of multimodal interaction in the human information processing system ». *ESPRIT Project 8579*. Miami (États-Unis).
- Schroeder, M. R., B. S. Atal, et J. L. Hall. 1979. « Objective measure of certain speech signal degradations based on masking properties of human auditory perception ». In *Frontiers of Speech Communication Research*, sous la dir. de B. Lindblom et S. Öhman, p. 217-229. London : Academic.
- Schwartz, J.-L. 2001. « Une théorie de la perception pour le contrôle de l'action ». *Percevoir: monde et langage. Invariance et variabilité du sens vécu*, sous la dir. de D. Keller, J. P. Durafour, J. F. P. Bonnot et R. Sock, p. 261-271. Liège : Mardaga.

- Schwartz, J.-L., C. Abry, L.-J. Boë, et M.-A. Cathiard. 2002. « Phonology in a theory of perception-for-action-control ». In *Phonetics, phonology and cognition*, sous la dir. de J. Durand et B. Laks. Oxford: Oxford University Press.
- Schwartz, J.-L., F. Berthommier, et C. Savariaux. 2004. « Seeing to hear better: evidence for early audio-visual interactions in speech identification ». *Cognition*, no 93, p. 69-78.
- Stankov, L., et G. Spilsbury. 1978. « The measurement of auditory abilities of blind, partially sighted, and sighted children ». *Applied Psychological Measurements*, no 2, p. 491-503.
- Starlinger, I., et W. Niemeyer. 1981. « Do the blind hear better? Investigations on auditory processing in congenital or early acquired blindness. I. Peripheral functions ». *Audiology*, no 20, p. 503-509.
- Stevens, K. N. 1989. « On the quantal nature of speech ». *Journal of Phonetics*, no 17, p. 3-45.
- Stevens, K. N. 1996. « Critique: articulatory-acoustic relations and their role in speech perception ». *Journal of the Acoustical Society of America*, no 99, vol 3, p. 1693-1694.
- Summerfield, Q. 1987. « Some preliminaries to a comprehensive account of audio-visual speech perception ». In *Hearing by eye: the psychology of lip-reading*, sous la dir. de B. Dodd et R. Campbell, p. 3-51. London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Syrdal, A. K., et H. S. Gopal. 1986. « A perceptual model of vowel recognition based on the auditory representations of American English vowels ». *Journal of the Acoustical Society of America*, no 79, p. 1086-1100.
- Thaïs-Uomini, N. 2000. « Étude perceptive des voyelles des langues du monde ». Mémoire de DEA en Sciences du Langage. Grenoble, Université Stendhal Grenoble 3.
- Thomas, K., V. Prost, R. Espesser, et V. Rey. 2000. « Capacités phonologiques implicite et explicite chez les malvoyants ». 13<sup>e</sup> Journées d'Étude sur la Parole, Aussois (France).
- Woodward, M. F., et C. G. Barber. 1960. « Phoneme perception in lipreading ». *Journal of Speech and Hearing Research*, no 3, p. 212-222.